https://www.engcopilot.com/

Reef4 version 4.4.3.1 - Edition 174 - Décembre 2013
Document : NF DTU 39 P3 (octobre 2006) : Travaux de bâtiment - Travaux de vitrerie-miroiterie - Partie 3 : Mémento calculs des contraintes thermiques (Indice de classement : P78-201-3)

norme française

NF DTU 39 P3
Octobre 2006
P 78-201-3

Travaux de bâtiment
Travaux de vitrerie-miroiterie
Partie 3 : Mémento calculs des contraintes thermiques

Bulding works - Glazing and mirror-glass works - Part 3 : Calculation memorandum for thermal stress

Bauarbeiten - Spiegelglas und Glasereiarbeiten - Teil 3 : Memorandum für die Wärmebeanspruchungsberechnungen

Statut

Norme française homologuée par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 septembre 2006 pour prendre effet le 5 octobre 2006.

Avec les parties P1-1, P1-2 et P4 de la norme homologuée NF DTU 39 et le fascicule de documentation FD DTU 39 P5, remplace la norme homologuée NF P 78-201-1, de mai 1993 et ses amendements A1 de mai 1998, A2 de juillet 1997 et A3, d'octobre 2000.

Correspondance

A la date de publication du présent document, il existe des travaux européens traitant du même sujet.

Analyse

Le présent document définit les règles de calcul pour le choix des vitrages utilisés en paroi extérieure des bâtiments et susceptibles d'être exposés à l'ensoleillement et/ou soumis aux effets des corps de chauffe, au regard des casses d'origine thermique.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : bâtiment, contrat, vitrerie, vitrage, vitrage isolant, double vitrage, verre, caractéristique, façonnage, feuillure, store, règle de calcul, contrainte de traction, analyse de contrainte, comparaison, résistance thermique, rayonnement solaire, conditions climatiques, température, résistance au choc thermique, bilan thermique, coefficient d'absorption, dimension.

Modifications

Par rapport aux documents remplacés, révision de la norme

Sommaire

Liste des auteurs
Avant-propos
1 Domaine d'application
2 Références normatives

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

3 Termes et définitions
4 Symboles et abréviations
5 Principes
6 Caractéristiques des vitrages
6.1 Caractéristiques énergétiques
6.2 Vitrages à haute résistance thermique
6.3 Façonnage
6.4 Vitrages peints, gravés ou filmés
7 Environnement du vitrage
7.1 Feuillures
7.1.1 Les feuillures à inertie thermique faible
7.1.2 Les feuillures à inertie thermique moyenne
7.1.3 Les feuillures à inertie thermique forte
7.2 Nature des ouvrants
7.3 Ombres portées (ou projetées)
7.4 Stores ou protections solaires, fermetures
7.4.1 Caractéristiques
7.4.2 Ventilation
7.4.3 Valeurs par défaut
7.5 Paroi opaque
7.5.1 Caractéristiques géométriques et dimensionnelles
7.5.2 Caractéristiques thermiques et énergétiques
7.5.3 Valeurs par défaut
7.6 Vitrages isolants en porte-à-faux
7.7 Vitrages exposés aux effets d'un corps de chauffe
7.8 Absence ou insuffisance de données essentielles dans le dossier de consultation
8 Données climatiques
8.1 Températures
8.1.1 Températures minimales et maximales
8.1.2 Températures à considérer pour chaque saison
8.1.3 Conditions ambiantes intérieures
8.2 Flux solaire
8.2.1 Régime permanent
8.2.2 Régime transitoire
8.3 Conditions standard
8.4 Coefficients d'échanges superficiels
9 Méthodes de calcul
9.1 Méthode générale, calcul en régime transitoire
9.1.1 Températures des verres en feuillure (zone 1)
9.1.1.1 Signaux météorologiques
9.1.1.2 Extrapolation à des conditions climatiques différentes
9.1.1.3 Bibliothèque de réponses
9.1.2 Températures en zone centrale des vitrages (zones 2 et 3)
9.1.2.1 Calcul des caractéristiques énergétiques globales
9.1.2.2 Température d'un composant verrier i
9.1.2.3 Température d'une lame de gaz fermée k entre deux éléments, sans autre élément incorporé
9.1.2.4 Température d'une lame d'air ventilée en présence d'un store ou d'une protection solaire
9.1.3 Calcul des écarts de température δθ
9.2 Méthode simplifiée - Calcul en régime permanent
9.2.1 Calcul des températures en feuillure à l'ombre
9.2.2 Calcul des températures en partie centrale du vitrage (zones 2 et 3)
9.2.2.1 Bilan thermique d'un élément (vitrage ou store)
9.2.2.2 Bilan thermique d'une lame d'air
9.2.3 Calcul des écarts de température
9.3 Méthode simplifiée manuelle
9.3.1 Température en feuillure (zone 1)
9.3.2 Calcul des températures des vitrages (zone 2)
9.3.2.1 Simple vitrage sans store
9.3.2.2 Double vitrage sans store
9.3.2.3 Simple vitrage avec store intérieur non ventilé
9.3.2.4 Simple vitrage avec store intérieur ventilé
9.3.2.5 Double vitrage avec store intérieur ventilé
9.3.3 Ecart de température
10 Cas particuliers
10.1 Vitrages verticaux en châssis coulissant
10.1.1 Méthode des coefficients d'absorption
10.1.2 Méthode des écarts de température
10.1.2.1 Conditions climatiques
10.1.2.2 Ventilation
10.1.2.2.1 Vitrages totalement superposés
10.1.2.2.2 Vitrages partiellement ventilés
10.1.2.3 Vitrages totalement superposés non ventilés
10.1.2.4 Vitrages partiellement ventilés
10.2 Châssis à galandage
10.3 Vitrages situés devant une partie opaque
10.3.1 Conditions climatiques
10.3.2 Ventilation
10.3.3 Méthode de calcul en régime permanent
10.4 Vitrages isolants à bords décalés
11 Exigences et critères
11.1 Comparaison des contraintes
11.1.1 Calcul de la contrainte thermique σ th
11.1.2 Contrainte de travail dans le verre σ vm
11.1.3 Coefficient k v de sensibilité du verre au choc thermique
11.1.4 Coefficient k a dépendant de l'inclinaison du vitrage et de ses conditions d'appui
11.1.5 Contraintes thermiques admissibles

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

11.1.6 Dépassement de la contrainte admissible
11.2 Comparaison des écarts de températures
11.2.1 Ecart de température admissible dans les verres
11.2.2 Feuillures à faible inertie thermique
11.2.3 Feuillures à inertie thermique moyenne
11.2.4 Feuillures à forte inertie thermique
11.3 Comparaison des coefficients d'absorption
11.3.1 Simples vitrages avec ou sans store intérieur
11.3.2 Doubles vitrages sans couche faiblement émissive avec ou sans store intérieur
11.3.3 Doubles vitrages verticaux à couche faiblement émissive avec ou sans store intérieur
11.3.4 Vitrages en toiture sans store intérieur
11.3.4.1 Simple vitrage
11.3.4.2 Double vitrage sans couche faiblement émissive
11.3.5 Châssis verticaux coulissants ou à guillotine sans store
11.3.5.1 Vitrage simple ou isolant en châssis vertical coulissant ou à guillotine sans butée
11.3.5.2 Double vitrage en châssis vertical coulissant ou à guillotine avec butée
Annexe A (normative) Stores - Calcul du coefficient K x
A.1 Cas particuliers
A.1.1 Cas d'un store ventilé sur trois côtés, avec un interstice périphérique de largeur b :
A.1.2 Cas d'un store à ventilation haute et basse, avec des interstices de largeur b :
A.1.3 Cas d'un store à perméabilité répartie et à côtés fermés, soit β la perméabilité du store (proportion de vides)
A.1.4 Store intérieur ventilé sur trois côtés pour l'application de la méthode simplifiée
A.2 Perméabilité du store au rayonnement infrarouge lointain

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Membres de la commission de normalisation
Présidente : MME CRIAUD
Secrétariat : M DOUARD - BNTEC FFPV

- M AUBERT CEKAL
- BOUCHAHOUA PILKINGTON
- BRIDIER SNFA
- CALVIER DEVERGEZE ET CALVIER
- CARRIE CEKAL
- CHOLLEY LA ROCHERE
- MME COPPIS MACOCCO SA
- COTTENET CENTRE TECHNIQUE DU BOIS
- CRIAUD GLAVERBEL FRANCE
- M DE LA ROCHEFOUCAULD VERTAL SUD-EST
- DELSAHUT CSTB
- DETRAZ MINISTERE DE L'INTERIEUR - DDSC
- DICHAMP DICHAMP TECHNIVERRIER
- DOMAS GLAVERBEL FRANCE
- DOUARD FFPV
- DURAND CEBTP

MLLE DURAND SOCOTEC

- M ERNEWEIN SAINT GOBAIN GLASS
- ESCAICH ESC
- FAIVRE DELORD FFPV
- FOUCAL BUREAU VERITAS
- MLLE GIRARDOT AFNOR
- GODARD SOLUTIA
- M GRELAT CEBTP
- GRELL PILKINGTON FRANCE
- JARRIJON SNCP
- JOURDAN SFJF
- LAFFONT SAINT GOBAIN GLASS
- LAGIER CSTB
- LAMY SNFPSA
- MAROZEAU GLAVERBEL FRANCE
- NOEL SAINT GOBAIN GLASS
- NUGUE SAINT GOBAIN GLASS

MME OLLIVIER SAINT GOBAIN GLASS

- M PIECHACZYK OTH BATIMENTS
- PINCON BNTEC
- REHFELD SAINT GOBAIN VITRAGE
- ROQUETTE SAVERBAT
- ROUGIER SAINT GOBAIN GLASS
- SAVINEAU SOLUTIA EUROPE SA
- WAGNER AFNOR

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Avant-propos

Dans l'attente de la finalisation des travaux de normalisation européens, ce document reprend la méthode d'évaluation des risques de casse thermique de la NF P 78-201-1/A1 - DTU 39 de mai 1998.

Le présent document fera l'objet d'une révision lors de la publication des normes européennes traitant du même sujet.

Il s'applique aux verres de silicate sodo-calcique recuit, durci ou trempé.

NOTE

Les vitrages trempés conformes à la NF EN 12150 ou NF EN 14179 sont réputés être à haute résistance aux chocs thermiques, et ne nécessitent pas de vérification. Les verres borosilicates conformes à la NF EN 1748-1 ou NF EN 13024 , ainsi que les vitrocéramiques conformes à la NF EN 1748-2 sont par nature à très haute résistance aux chocs thermiques, et ne nécessitent pas de vérification.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

1 Domaine d'application

Le présent document définit les règles de calcul pour le choix des vitrages utilisés en paroi extérieure des bâtiments et susceptibles d'être exposés à l'ensoleillement et/ou soumis aux effets des corps de chauffe, au regard des casses d'origine thermique.

La méthode ci-dessous s'applique aux vitrages, équipés ou non de stores ou protections solaires ou de voilages, non directement exposés aux effets d'un corps de chauffe.

Les vitrages avec trou(s) et/ou encoche(s) ne sont pas traités dans ce document.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

2 Références normatives

Les documents référencés ci-après sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document référencé (y compris les amendements) s'applique.

NF DTU 39 P1-1
Travaux de bâtiment - Travaux de vitrerie-miroiterie - Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques (indice de classement : P 78-201-1-1).
NF DTU 39 P1-2
Travaux de bâtiment - Travaux de vitrerie-miroiterie - Partie 1-2 : Critères généraux de choix des matériaux (indice de classement : P 78-201-1-2).
FD DTU 39 P5
Travaux de bâtiment - Travaux de vitrerie-miroiterie - Partie 5 : Mémento sécurité (indice de classement : P 78-201-5).
NF EN 410
Verre dans la construction - Détermination des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages (indice de classement : P 78-457).
NF EN 673
Verre dans la construction - Détermination du coefficient de transmission thermique, U - Méthode de calcul (indice de classement : P 78-460).
NF EN 1748
Verre dans la construction - Produits de base spéciaux - Vitrocéramiques (indice de classement : P 78-460) .
NF EN 1863
Verre dans la construction - Verre de silicate sodo-calcique durci thermiquement (indice de classement : P 78-220).
ISO/DIS 9050, *Détermination de la transmission lumineuse, de la transmission solaire totale, de la transmission de l'ultraviolet et des facteurs dérivés des vitrages.*
NF EN ISO 10077-1
Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique - Partie 1 : méthode simplifiée (indice de classement : P 50-737-1).
NF EN 12150
Verre dans la construction - Verre de silicate sodo-calcique de sécurité trempé thermiquement (indice de classement : P 78-221).
NF EN 12337
Verre dans la construction - Verre de silicate sodo-calcique renforcé chimiquement - Partie 1 : Définition et description - Partie 2 : Evaluation de la conformité (indice de classement : P 78-222).
NF EN 13024
Verre dans la construction - Verre borosilicate de sécurité trempé thermiquement - Partie 1 : Définition et description - Partie 2 : Evaluation de la conformité (indice de classement : P 78-801).
NF EN 13363-1
Dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages - Calcul du facteur de transmission solaire et lumineuse - Partie 1 : Méthode simplifiée (indice de classement : P 50-771-1).
NF EN 13363-2
Dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages - Calcul du facteur de transmission solaire et lumineuse - Partie 2 : Méthode de calcul détaillée (indice de classement : P 50-771-2).
NF EN 14178
Verre dans la construction - Verre de silicate alcalino-terreux de base - Partie 1 : Glace flottée - Partie 2 : Evaluation de la conformité (indice de classement : P 78-178).
NF EN 14179
Verre dans la construction - Verre de silicate sodo-calcique de sécurité trempé et traité Heat Soak - Partie 1 : Définition et description - Partie 2 : Evaluation de la conformité (indice de classement : P 78-179).
NF EN 14501
Fermetures et stores - Confort thermique et lumineux - Caractérisation des performances et classification (indice de classement : P 25-517).

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1 écart critique

l'écart de température critique est la différence de température entre deux points d'un même verre, conduisant à la rupture. Sa valeur dépend de la nature du produit verrier et de ses conditions de pose (nature des feuillures et inclinaison)

NOTE
L'écart critique n'est pas la différence de température entre ambiances de part et d'autre du vitrage.

3.2 vitrages exposés à l'ensoleillement

sont considérés comme soumis à l'ensoleillement, les vitrages verticaux ou assimilés (β ≥ 60°) dont la perpendiculaire est orientée dans l'angle correspondant à la zone hachurée de la Figure 1 , sauf s'ils sont totalement et de façon permanente à l'abri du soleil. Les vitrages dont l'inclinaison est inférieure à 30° par rapport à l'horizontale sont considérés comme soumis à l'ensoleillement, quelle que soit leur orientation

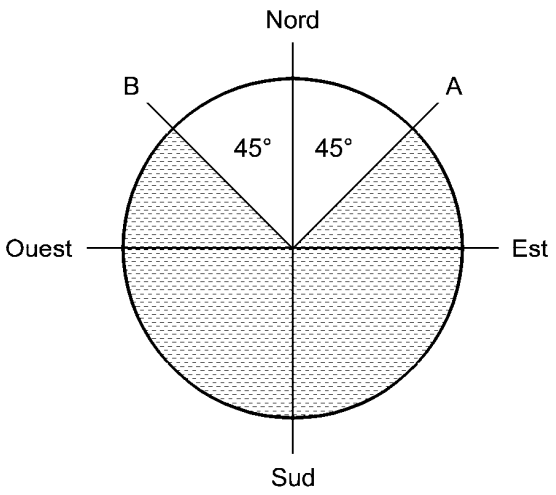


Figure 1 - Orientation des vitrages (verticaux) soumis à l'ensoleillement

3.3 régime transitoire (ou varié)

les températures des composants sont calculées pas à pas en tenant compte de l'évolution du flux solaire, et des températures intérieures et extérieures

3.4 régime permanent

les températures des composants sont calculées en supposant constants le flux solaire et les températures intérieures et extérieures

3.5 verre feuilleté symétrique

verre feuilleté dont l'écart entre les épaisseurs nominales des verres est inférieur ou égal à 2 mm

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

4 Symboles et abréviations

- b_1, b_2, b_3 Espaces périphériques de ventilation de store ou fermeture
- c Capacité thermique massique de l'air = 1 008 J/(kg.K) ;
- c_v Capacité thermique massique du verre = 720 J/(kg.K) ;
- c_a Capacité thermique massique du gaz ($c_{a(argon)}$ = 519 J/(kg.K) ; $c_{a(krypton)}$ = 245 J/(kg.K)) ;
- A_θ Amplitude de température correspondant au site en (°C) ;
- B Largeur du vitrage (m) ;
- C_i Coefficient multiplicateur du flux solaire, lié à l'inclinaison (sans unité) ;
- E Module élastique du verre (70 000 [MPa]) ;
- e_i Epaisseur du composant (m) ;
- e_k Epaisseur de la lame de gaz (m) ;
- g Accélération de la pesanteur (9,81 m/s) ;
- H Hauteur du vitrage (m) ;
- h_i Coefficient d'échange superficiel intérieur [W/(m².K)] ;
- h_e Coefficient d'échange superficiel extérieur [W/(m².K)] ;
- h_c Coefficient d'échanges convectifs suivant EN 673 ;
- h_{cij} Coefficient d'échanges convectifs entre les deux verres i et j ;
- h_{rij} Coefficient d'échanges radiatifs entre les deux verres i et j ;
  Les coefficients h_{cij} et h_{rij} dépendent des températures θ_i et θ_j, et de l'émissivité moyenne des faces, et de l'épaisseur de la lame de gaz.
- h_{cnk} Coefficient d'échanges convectifs entre l'espace d'air k et la paroi opaque n ;
- h_{rnk} Coefficient d'échanges radiatifs entre le verre intérieur et l'espace d'air ;
  Les coefficients h_{cnk} et h_{rnk} dépendent des températures θ_n et θ_k, et de l'émissivité moyenne des faces, et de la largeur de l'espace d'air.
- k_t Coefficient de calcul de la contrainte thermique dépendant du type de feuillure et de l'ombre portée ;
- k_v Coefficient dépendant de la sensibilité du verre au choc thermique ;
- k_a Coefficient dépendant de l'inclinaison du vitrage et de ses conditions d'appui ;
- K_x Facteur d'échange lié au store ou à la protection solaire, ou à la ventilation ;
- Q_{be}, Q_{ce}, Q_{se} Débits entrants, respectivement par le bas du store ou de la fermeture, par les côtés et en surface du store [kg/(m².s)] ;
- Q_{bs}, Q_{cs}, Q_{ss} Débits sortants, respectivement par le bas du store ou de la fermeture, par les côtés et en surface du store [kg/(m².s)] ;
- Qe Débit entrant total [kg/(m².s)] ;
- R Résistance thermique [(m².K)/W] ;
- T_0 Température absolue correspondant à 0 °C (273 K) ;
- T_1 et T_2 Température absolue, respectivement entre le vitrage et le store, et le store et l'intérieur de la pièce (K) ;
- U_g Coefficient de transmission thermique surfacique du vitrage [W/(m².K)] ;
- x Position relative de la zone neutre z_n (m) ;
- z Cote variable représentant la hauteur sur le store ventilé à laquelle est calculé δρ (m) ;
- z_n Valeur de z pour laquelle δρ = 0 (m) ;
- α Coefficient de dilatation du verre sodo-calcique (9.10^{-6} [1/K]) ;
- α_e Absorption énergétique ;
- α_{ei} Absorption énergétique effective de (i) ;
- β Angle du vitrage par rapport à l'horizontale ;
- β_{ps} Perméabilité à l'air du store ;
- δθ Ecart de température maximal calculé (°C) ;
- $\delta\theta_{adm}$ Ecart de température admissible dans les verres (°C) ;

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

- $\delta\theta_{ei}$ Amplitude du signal climatique de température i (°C) ;
- $\delta\theta_{ji}$ Amplitude de la réponse du verre en feuillure (°C) ;
- $\delta\rho$ Différence de masse volumique entre ρ_1 et ρ_2 (kg/m³) ;
- Φ_s Flux solaire incident (W/m²) ;
- θ_{ae} Température ambiante extérieure (°C) ;
- θ_{ai} Température ambiante intérieure (°C) ;
- θ_d Température corrigée de l'influence du flux diffus (°C) ;
- θ_{eim} Valeur médiane du signal climatique de température i (°C) ;
- θ_j Température de surface de ces verres (°C) ;
- θ_i Température du composant i (°C) ;
- θ_{vi} Température du vitrage i (°C) ;
- θ_{v1} Température du vitrage 1 (°C) ;
- θ_{v2} Température du vitrage 2 (°C) ;
- θ_{v0} Température du vitrage situé à l'intérieur du mur (°C) ;
- θ_k Températures de l'air entre le vitrage et la paroi opaque (°C) ;
- θ_{jim} Valeur médiane de la réponse du verre en feuillure (°C) ;
- θ_{min} Température minimale (°C) ;
- θ_{max} Température maximale (°C) ;
- θ_n Température de surface de la paroi opaque côté vitrage (°C) ;
- θ_{n+1} Température de surface de la paroi opaque côté opposé au vitrage (°C) ;
- θ_s Température du store s (°C) ;
- ρ_1 et ρ_2 Respectivement la masse volumique de l'air pour T_1 et T_2 (kg/m³) ;
- ρ_a Masse volumique de l'air pour T_0 (1,277 kg/m³) ;
- ρ_a Masse volumique du gaz pour T_0 ($\rho_{a(argon)}$ = 1,762 kg/m³ ; $\rho_{a(krypton)}$ = 3,690 kg/m³) ;
- ρ_e Réflexion énergétique ;
- ρ_v Masse volumique du verre (2 500 kg/m³) ;
- τ_e Transmission énergétique ;
- σ_{adm} Contrainte thermique admissible (MPa) ;
- σ_{th} Contrainte thermique (MPa) ;
- σ_{vm} Contrainte de travail dans le verre (MPa).

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

5 Principes

Sous l'effet de l'ensoleillement, un vitrage s'échauffe d'autant plus que son absorption énergétique est plus élevée. La présence permanente ou occasionnelle d'ombres portées engendre sur le vitrage des écarts de température (les bords étant la partie la plus froide du vitrage), créant localement des contraintes de traction. Ces contraintes sont susceptibles de provoquer la rupture du vitrage, si ces différences de température atteignent certains écarts critiques.

Les écarts de température générés entre deux points d'un même verre dépendent :

- des conditions climatiques du site (flux solaire, écart journalier de température, vent, orientation des façades, saison, altitude, etc.) ;
- de la nature et de la constitution des vitrages (nombre de composants et leurs caractéristiques énergétiques, valeur du coefficient U_g) ;
- de la nature et l'environnement des feuillures (inertie thermique) ;
- de la nature des parois au voisinage du vitrage ;
- de la présence de store ou de la proximité d'un corps de chauffe.

Pour l'ensemble des conditions du projet, la contrainte d'origine thermique résultant de l'écart de température instantané maximal entre deux parties d'un même verre doit être inférieure à la contrainte thermique admissible.

La contrainte thermique admissible dépend du type de vitrage, de son inclinaison et de ses conditions d'appui. Les méthodes de calculs sont précisées à l'Article 9 .

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

6 Caractéristiques des vitrages

Les faces d'un vitrage sont numérotées conformément au paragraphe 3.22 de la NF DTU 39 P1-1 (CCT) .

L'inclinaison du vitrage dans l'ouvrage doit être spécifiée.

La finition des chants est définie au paragraphe 3.23 dans la NF DTU 39 P1-1 (CCT) . Le façonnage est décrit en 6.3 du présent document.

6.1 Caractéristiques énergétiques

Chaque composant verrier, monolithique ou feuilleté, est défini par ses caractéristiques énergétiques (transmission, absorption, réflexion) déterminées selon la NF EN 410 , et pour chacune de ses faces.

Dans le cas d'un vitrage isolant, les caractéristiques énergétiques doivent être connues pour chacune des faces et pour chacun des composants.

Les caractéristiques globales du vitrage, avec ou sans store, sont déterminées à partir de celles de chaque composant (articles 6 et 7.4), et suivant NF EN 13363 .

La résolution permet d'obtenir les caractéristiques globales du vitrage τ_e , ρ_e , α_{ei} , α_e .

NOTE

La prise en compte des caractéristiques énergétiques globales des composants constitue une simplification admissible allant généralement dans le sens de la sécurité pour le calcul des échauffements des verres. Si les caractéristiques spectrales de tous les composants sont connues sur l'ensemble du spectre solaire (0,3 µm à 2,15 µm), elles peuvent être utilisées dans le cadre d'une méthode de calcul plus précise.

6.2 Vitrages à haute résistance thermique

Les produits verriers à haute résistance aux chocs thermiques sont :

- les verres de silicate sodo-calcique renforcés thermiquement (NF EN 1863) ou trempés (NF EN 12150 ou NF EN 14179) ou encore trempés chimiquement (NF EN 12337) ;
- les verres à faible coefficient de dilatation tels que les verres borosilicates généralement renforcés thermiquement (NF EN 13024) ou les vitrocéramiques (NF EN 1748-2), ou les verres de silicate alcalino-terreux (NF EN 14178).

6.3 Façonnage

Le façonnage des chants, parfois appelé rodage, vise à améliorer la résistance du verre au regard des contraintes thermiques, en limitant les amorces de rupture existantes inhérentes à la découpe du verre.

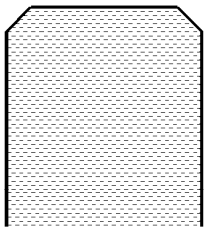
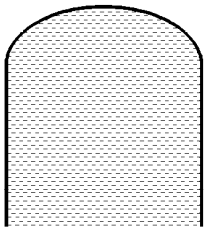
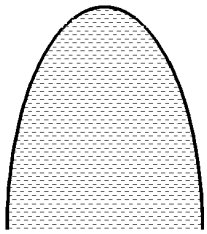
		
JPI / JPP	**JAI / JAP**	
Joint Plat Industriel Joint Plat Poli	Joint Arrondi Industriel Joint Arrondi Poli	Joint demi-rond

Tableau 1 - Exemples de façonnage des chants aptes à réduire les risques de casse thermique

Le façonnage en arêtes abattues n'apporte aucune amélioration significative de la résistance du verre au regard des contraintes thermiques, il est comparable à une finition brute de coupe.

Les amorces de rupture sont les défauts, saillants ou rentrants, repérés A sur la figure 2 : Ils sont situés à l'angle formé par une face et le chant adjacent du verre.

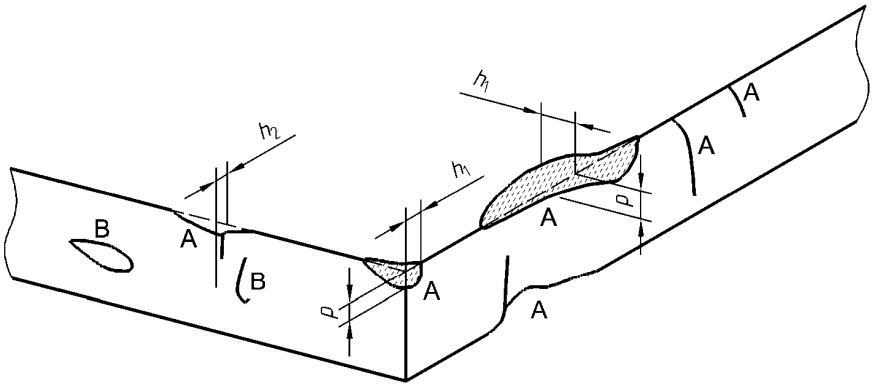
Les défauts de type B (écailles ou traces de coupe non situés sur l'arête) ne sont pas considérés comme amorce de rupture.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Bord	Défauts de type A	Défauts de type B
Scié	Admis sans limites en nombre et dimensions	Admis sans limites en nombre et dimensions
Brut de coupe	Admis avec h1 ou h2 < (e – 1) mm et p < (e/4) mm	Admis sans limites en nombre et dimensions
Façonné	Non admis	Non admis

Tableau 2 - Finition des chants



Légende

h1 Défaut entrant dans le plan du verre

h2 Défaut saillant

p Défaut rentrant dans le sens de l'épaisseur

Figure 2 - Défauts considérés ou non comme amorces de rupture

Ces exigences s'appliquent également à chaque composant d'un vitrage feuilleté.

6.4 Vitrages peints, gravés ou filmés

Sauf justification particulière, ces vitrages doivent être à haute résistance thermique.

Les caractéristiques énergétiques du composant doivent être données par le fournisseur sous sa responsabilité.

NOTE
Les vitrages peints ou filmés sont exclus du domaine d'application du DTU 39.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

7 Environnement du vitrage

7.1 Feuillures

On distingue trois types de feuillures.

7.1.1 Les feuillures à inertie thermique faible

Entrent dans cette catégorie :

- les feuillures isolantes en bois ou en matériaux de synthèse (aussi appelées " légères isolantes " en 9.1.1.3) ;
- les feuillures en aluminium avec ou sans rupture thermique (aussi appelées " légères conductrices " en 9.1.1.3) ;
- les feuillures en acier de faible épaisseur, situées dans des ouvrants ou dans des dormants sans aucun contact avec le gros oeuvre, ou avec une charpente métallique lourde ;
- les feuillures des menuiseries mixtes, bois et aluminium, bois et matériau de synthèse ;
- les vitrages extérieurs collés (V.E.C en 9.1.1.3) ;
- les vitrages extérieurs attachés.

Les figures 3 à 8 donnent des exemples de feuillures à inertie thermique faible.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

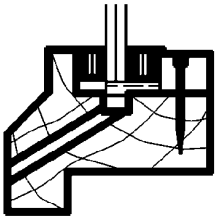


Figure 3 — Menuiseries en bois

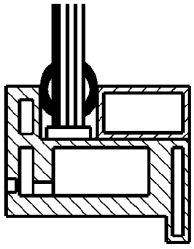


Figure 4 — Menuiseries en matériau de synthèse

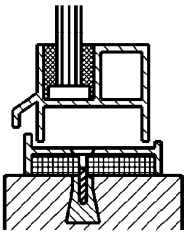


Figure 5 — Menuiseries ouvrantes en acier

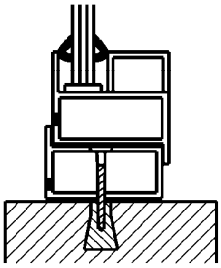


Figure 6 — Menuiseries aluminium ouvrantes avec ou sans rupture thermique

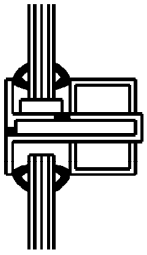


Figure 7 — Menuiseries dormantes en profil mince en aluminium avec ou sans rupture thermique sans aucun contact avec le gros œuvre ou une charpente métallique lourde

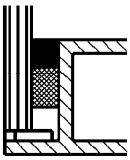


Figure 8 — Vitrage extérieur collé sur support en aluminium ou acier

7.1.2 Les feuillures à inertie thermique moyenne

Entrent dans cette catégorie, aussi appelée " lourde conductrice " en 9.1.1.3 :

- les feuillures en acier de forte épaisseur (type laminé à chaud) ;
- les feuillures en aluminium ou en acier situées dans des dormants fixés directement sur un mur, dans une feuillure de gros oeuvre, ou sur une charpente métallique lourde porteuse extérieure ou intérieure, même si un seul bord du vitrage est concerné ;
- les feuillures des menuiseries mixtes, aluminium et acier.

Les figures 9 à 13 donnent des exemples de feuillures à inertie thermique moyenne.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

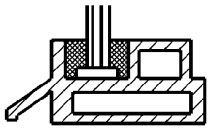


Figure 9 — Menuiseries dormantes ou ouvrantes en acier en profilés épais

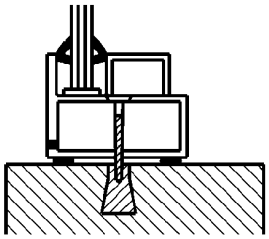


Figure 10 — Menuiserie en aluminium avec ou sans rupture thermique qui est fixée directement sans un mur ou dans une feuillure béton

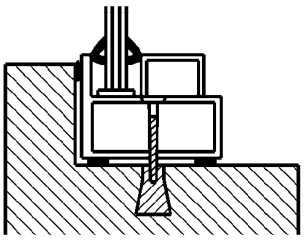


Figure 11 — Menuiserie en aluminium avec ou sans rupture thermique qui est fixée directement dans un mur ou dans une feuillure béton

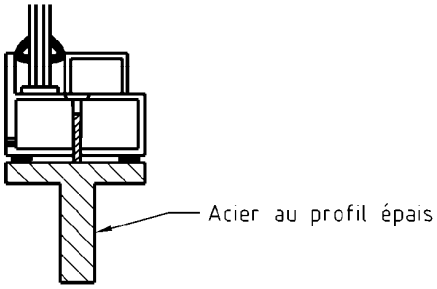


Figure 12 — Menuiserie dormante en aluminium avec ou sans rupture thermique, ou en acier en profilé mince en contact avec une ossature métallique lourde

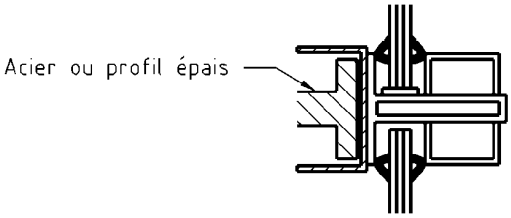


Figure 13 — Menuiserie dormante en aluminium avec ou sans rupture thermique ou en acier en profilé mince en contact avec une ossature métallique lourde

7.1.3 Les feuillures à inertie thermique forte

Entrent dans cette catégorie, aussi appelée " massive " en 9.1.1.3 :

- les feuillures en matériau minéral (même si un seul bord du verre est concerné) ;
- les feuillures métalliques engravées dans un matériau minéral.

Les figures 14 et 15 donnent des exemples de feuillures à inertie thermique forte.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

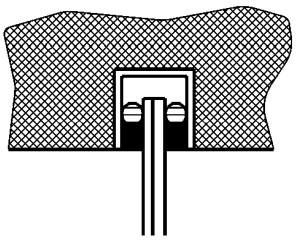


Figure 14 — Feuillure minérale

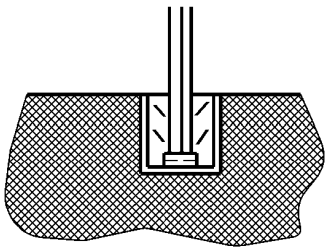


Figure 15 — Feuillure métallique engravée

7.2 Nature des ouvrants

Le mode d'ouverture du châssis doit être précisé (fixe, coulissant, galandage, etc.).

Dans le cas général, c'est la position " fermée " qui est à considérer.

Dans le cas des châssis coulissants ou à guillotine, la position " ouverte " doit également être étudiée. En effet, le mode d'ouverture peut amener la superposition totale ou partielle de deux doubles vitrages, ce qui constitue un risque plus élevé de casse thermique, du fait de l'élévation de température de l'espace entre les doubles vitrages. La présence d'une ombre portée, par exemple sous le linteau de l'encadrement de la fenêtre, peut accentuer le phénomène.

7.3 Ombres portées (ou projetées)

La présence de pare-soleil, auvent, loggia, tableau de maçonnerie, ou d'un masque, peut occasionner de façon temporaire ou permanente une ombre portée sur le vitrage. La présence de ces éléments doit être précisée par le maître d'ouvrage.

Les vitrages mis en oeuvre dans des châssis positionnés au nu intérieur reçoivent systématiquement une ombre portée.

Les vitrages situés au nu extérieur de la façade ou de la toiture et non susceptibles de recevoir de façon habituelle l'ombre d'un obstacle environnant (partie de bâtiment, haie de persistants, etc.), sont réputés sans ombre portée.

7.4 Stores ou protections solaires, fermetures

7.4.1 Caractéristiques

Les caractéristiques du store sont définies conformément à la NF EN 14501 , par :

- son type (toile, vénitien) ;
- ses caractéristiques énergétiques (transmission, réflexion, absorption) ;
- sa perméabilité, ou son facteur d'ouverture.

Les caractéristiques de la fermeture sont définies conformément à l'Annexe H de la NF EN ISO 10077-1 .

Le positionnement de la protection solaire ou de la fermeture (intérieur, extérieur ou incorporé dans le vitrage), la distance au vitrage et les conditions de ventilation doivent être précisées.

Dans le cas de vitrages équipés de stores ou protections solaires mobiles (extérieurs, intérieurs ou incorporés au vitrage), le store est supposé à demi-fermé. Le calcul doit alors être effectué, en partie courante, pour les zones ensoleillées et à l'ombre, avec et sans store.

7.4.2 Ventilation

Un store ou une protection solaire peut être ventilé ou non, et partiellement perméable au rayonnement infrarouge.

La ventilation de l'espace entre le store ou la fermeture et le verre résulte de plusieurs facteurs :

- perméabilité propre en partie courante ;
- ventilation par les espaces périphériques b_1, b_2 et b_3.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

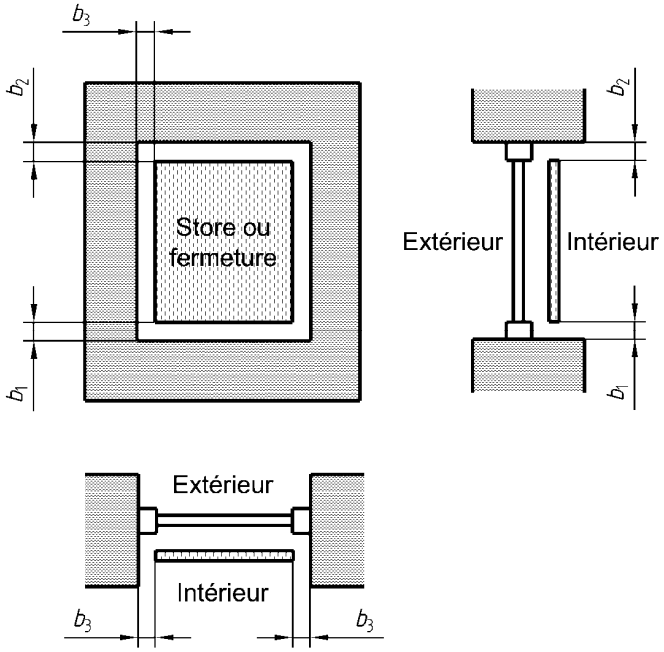


Figure 16 - Définition des espaces périphériques pour les stores et les fermetures

Des dispositions doivent être prises pour que le store ne soit pas en contact prolongé avec le vitrage. Si le store intérieur en position replié ne s'efface pas totalement du clair de jour du vitrage, il doit être considéré comme constituant une paroi opaque, s'il se trouve dans les conditions précisées en 7.5 .

7.4.3 Valeurs par défaut

A défaut d'information par le maître d'ouvrage, la distance du store au vitrage et les espaces de ventilation b_1, b_2 et b_3 sont pris égaux à 5 cm.

Lorsque les caractéristiques ne sont pas spécifiées, l'étude sera effectuée avec les caractéristiques standard définies ci-dessous, applicables quelle que soit la position de l'élément :

- transmission énergétique 10 % ;
- réflexion énergétique 40 % ;
- absorption énergétique 50 %.

Pour les locaux devant pouvoir être totalement occultés (salles de projection, certaines salles de cours), et en l'absence de spécifications, le calcul sera effectué avec les caractéristiques standard définies ci-dessous, applicables quelle que soit la position de l'élément :

- transmission énergétique 0 % ;
- réflexion énergétique 10 %.
- absorption énergétique 90 %.

7.5 Paroi opaque

7.5.1 Caractéristiques géométriques et dimensionnelles

Les figures 17 et 18 définissent des exemples de situations de vitrages devant paroi opaque.

En coupe verticale, suivant Figure 17 , le vitrage est considéré devant paroi opaque si :

$d_1 < 0{,}80$ m et $h_1 \geq 0{,}5\ d_1 + 0{,}10$ (m) ;

ou :

$d_2 < h_2$ et $h_2 \geq 0{,}10$ m

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

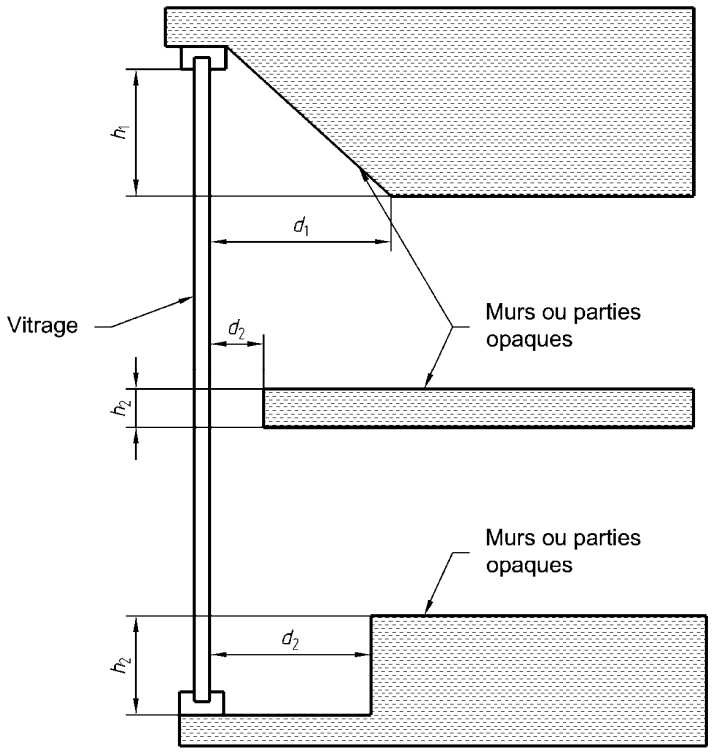


Figure 17 - Coupe verticale d'un vitrage devant une paroi opaque

En coupe horizontale, suivant Figure 18 , le vitrage est considéré comme devant une paroi opaque si :
$d_3 < h_3$ et $h_3 \geq 0{,}10$ m

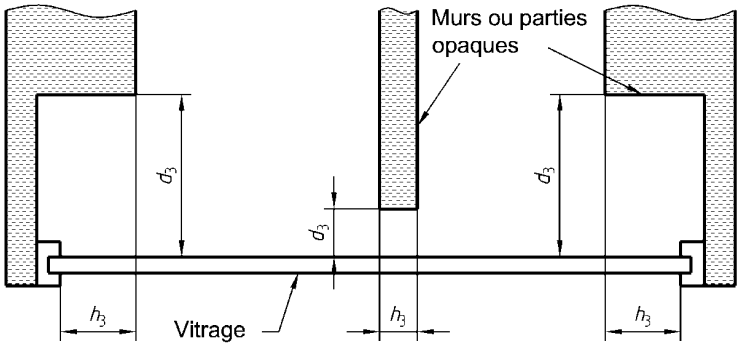


Figure 18 - Coupe horizontale d'un vitrage devant une paroi opaque

En l'absence d'information du maître d'ouvrage, le vitrage est considéré comme n'étant pas devant une paroi opaque.

7.5.2 Caractéristiques thermiques et énergétiques

La partie opaque est définie par sa résistance thermique fonction de l'épaisseur et de la conductivité thermique du ou des matériaux et son absorption et réflexion énergétiques.

Dans le cas d'un nez de plancher, ou d'un poteau épais, la résistance thermique de l'obstacle est évaluée forfaitairement en considérant une profondeur d'obstacle égale à son épaisseur.

7.5.3 Valeurs par défaut

A défaut d'informations du maître de l'ouvrage, les valeurs suivantes sont prises en compte :

- Béton armé 20 cm : R = 0,20 / 2 = 0,1 (m².K)/W ;

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

- Panneau d'isolant, laine de roche 10 cm : R = 0,10 / 0,04 = 2,5 (m².K)/W ;
- Béton armé 20 cm avec panneau d'isolant, laine de roche 10 cm : R = 0,1 + 2,5 = 2,6 (m².K)/W.

Absorption du matériau suivant couleur :

- Blanc : α = 0,3 ;
- Gris clair : α = 0,4 ;
- Aluminium anodisé naturel : α = 0,5 ;
- Gris foncé, béton brut : α = 0,65 ;
- Noir : α = 0,9.

7.6 Vitrages isolants en porte-à-faux

Lorsqu'une partie du vitrage est sur les deux faces en ambiance extérieure, les écarts de température sont tels que l'utilisation d'un verre à haute résistance aux chocs thermiques est indispensable pour tous les constituants du vitrage.

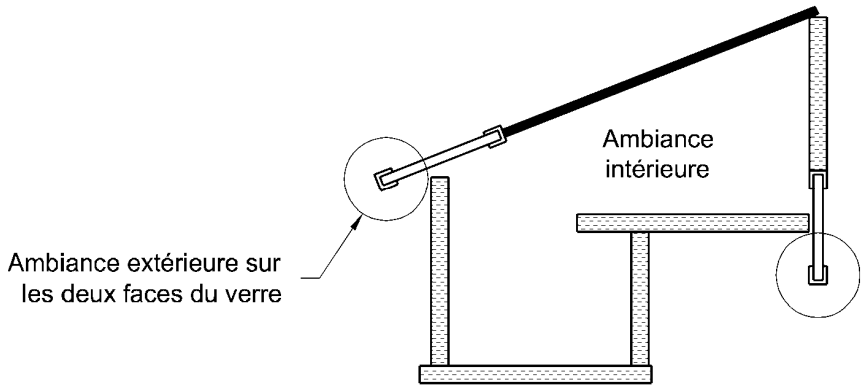


Figure 19 - Cas de vitrages comportant un porte-à-faux

En l'absence d'information du maître d'ouvrage, le vitrage est considéré sans porte-à-faux.

7.7 Vitrages exposés aux effets d'un corps de chauffe

Les vitrages ne doivent pas être exposés à un flux énergétique localement concentré.

Si le vitrage doit être soumis à des flux thermiques issus de systèmes rayonnant ou pulsant directement sur le verre (éclairage à forte intensité, appareil de chauffage rayonnant, radiateur de chauffage central, convecteur à air pulsé, etc.), il est nécessaire :

- soit d'utiliser un produit verrier satisfaisant aux exigences du 6.2 ;
- soit, en cas de soufflage parallèle au vitrage, de s'assurer que le convecteur soit au moins distant de 20 cm du verre.

7.8 Absence ou insuffisance de données essentielles dans le dossier de consultation

Lorsque certaines données essentielles ne sont pas spécifiées, l'entreprise de miroiterie-vitrerie formule son offre sur la base des hypothèses suivantes :

Orientation	Sud-Est et Ouest
Type de feuillure	Inertie thermique légère
Conditions d'appui	Feuillure périphérique - Vertical
Store ou fermeture	Sans
Ombre portée	Avec
Paroi opaque	Sans
Nature des ouvrants	Châssis fixe

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Tableau 3 - Hypothèses considérées en cas d'absence ou d'insuffisance de données essentielles

NOTE 1
L'exposition Sud-Est est généralement la plus défavorable pour le verre intérieur, l'exposition Ouest est généralement la plus défavorable pour le verre extérieur.
NOTE 2 L'ajout non prévu d'un store augmente notablement les risques de casse thermique.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

8 Données climatiques

8.1 Températures

8.1.1 Températures minimales et maximales

Pour un calcul en régime transitoire (ou varié) (voir 9.1), les températures diurnes maximales et minimales, en zone de plaine, sont indiquées dans les cartes des Figures 20 et 21 .

Pour un calcul en régime permanent (voir 9.2 et 9.3) en hiver, la température à considérer est la température diurne minimale, donnée par la figure 21 , majorée de 5 °C, pour tenir compte d'un ensoleillement important.

La plus forte amplitude journalière en zone de plaine est indiquée dans la Figure 22 . En zones côtières, l'amplitude maximale est prise égale à 15 °C.

NOTE
La zone côtière est définie comme étant à moins de 10 km du bord de la mer.

Pour un site d'altitude supérieure à 200 m, les températures minimales et maximales doivent être diminuées de :

- 1 °C par 200 m pour la zone d'amplitude 15 °C ;
- 1 °C par 100 m pour la zone d'amplitude 20 °C.

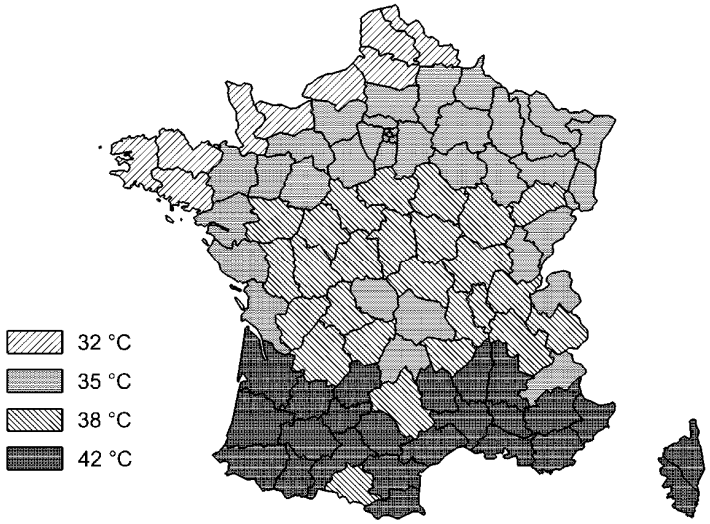
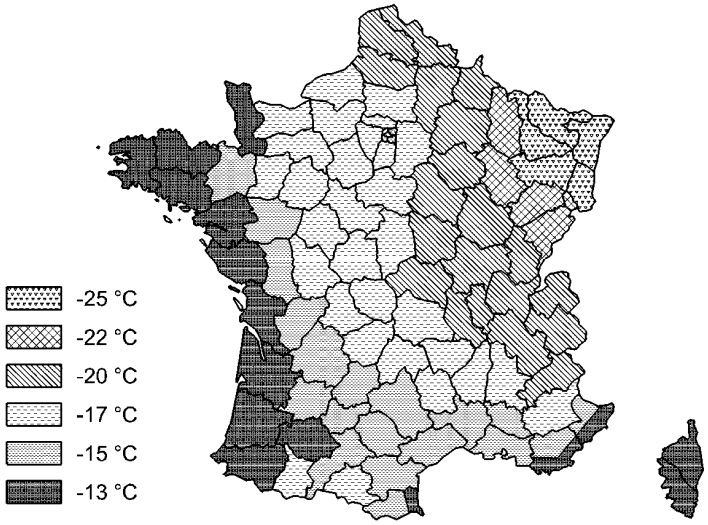


Figure 20 - Températures maximales



https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Figure 21 - Températures minimales

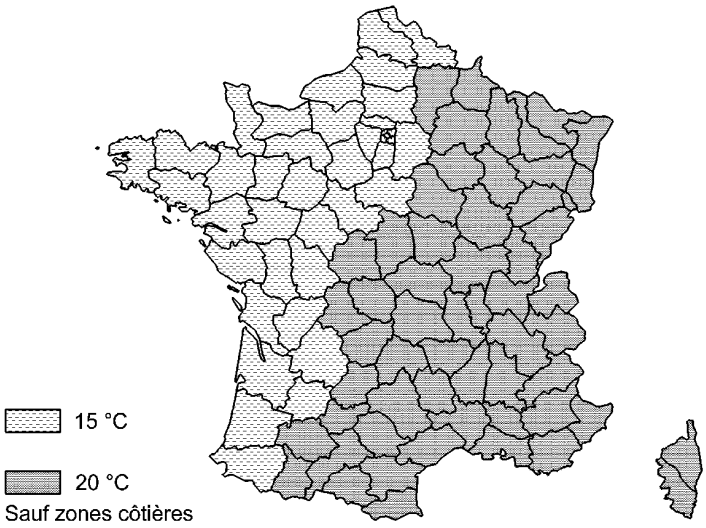


Figure 22 - Amplitudes maximales de température

8.1.2 Températures à considérer pour chaque saison

	Mini	Maxi	Moyen
Hiver	θ_{min}	$\theta_{min} + A_\theta$	
Été	$\theta_{max} - A_\theta$	θ_{max}	
Printemps			$\theta_m = 2/3\ (\theta_{min} + A_0/2) + 1/3\ (\theta_{max} - A_0/2)$
Automne			$\theta_m = 1/3\ (\theta_{min} + A_\theta/2) + 2/3\ (\theta_{max} - A_0/2)$

Tableau 4 - Températures à considérer pour chaque saison

8.1.3 Conditions ambiantes intérieures

La température intérieure des locaux de bâtiments en exploitation est supposée constante et est donnée dans le Tableau 5 .

	Verticaux ($\beta \geq 60°$)	**Inclinés** ($\beta < 60°$)
Été pour les locaux climatisés	$\theta_i = 25$ °C	$\theta_i = 30$ °C
Été pour les locaux non climatisés	$\theta_i = 25$ °C	$\theta_i = \theta_{ae}$ avec $\theta_i = 35$ °C
Autres saisons	$\theta_i = 20$ °C	$\theta_i = 20$ °C

Tableau 5 - Température intérieure des locaux de bâtiments en exploitation

8.2 Flux solaire

8.2.1 Régime permanent

Les flux solaires maximaux incidents sur une paroi verticale sont déterminés selon les Tableaux 6 et 7 .

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Altitude (m)	**Flux** (en W/m^2)	
	Zone rurale	Zone urbaine
0 — 500	800	750
500 — 1 000	850	800
> 1 000	950	900

Tableau 6 - Flux solaires maximaux sur une paroi verticale

Pour les parois inclinées, ces flux sont à multiplier par le coefficient C_i, dépendant de l'inclinaison de la façade par rapport à la verticale, et donné par le Tableau 7 .

Inclinaison	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
C_i été	1,00	1,15	1,20	1,25	1,25	1,25	1,20
C_i hiver	1,00	1,15	1,15	1,05	0,95	0,75	0,50

Tableau 7 - Coefficient multiplicateur du flux solaire maximal pour les parois inclinées

Le flux diffus et réfléchi par le sol est estimé à 10 % de la valeur maximale du flux solaire sans être inférieur à 75 W/m².

8.2.2 Régime transitoire

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

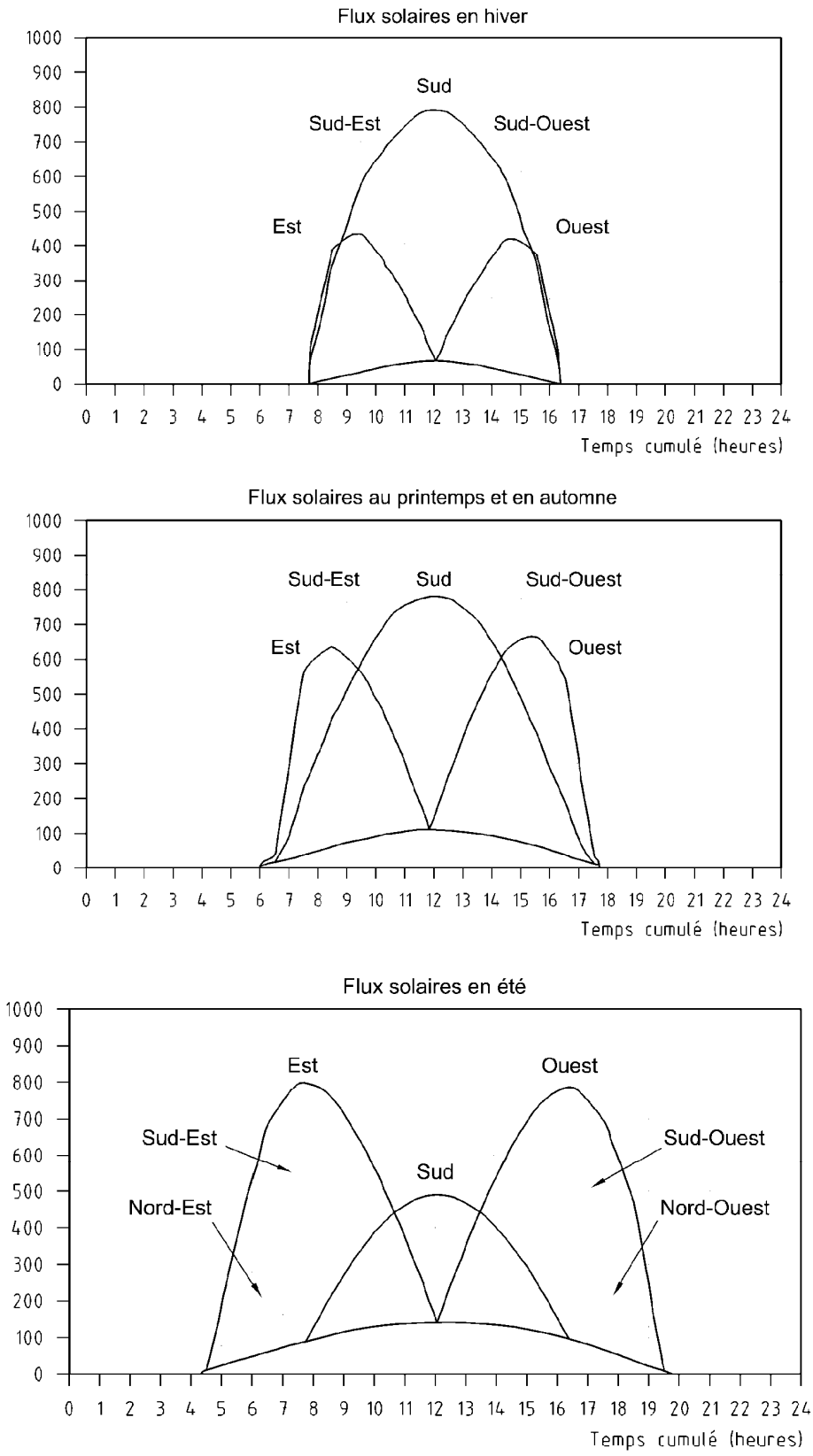


Figure 23 - Flux solaire sur les façades verticales

La valeur du flux diffus et réfléchi par le sol est caractéristique d'une journée claire de la saison (voir figure 24).

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

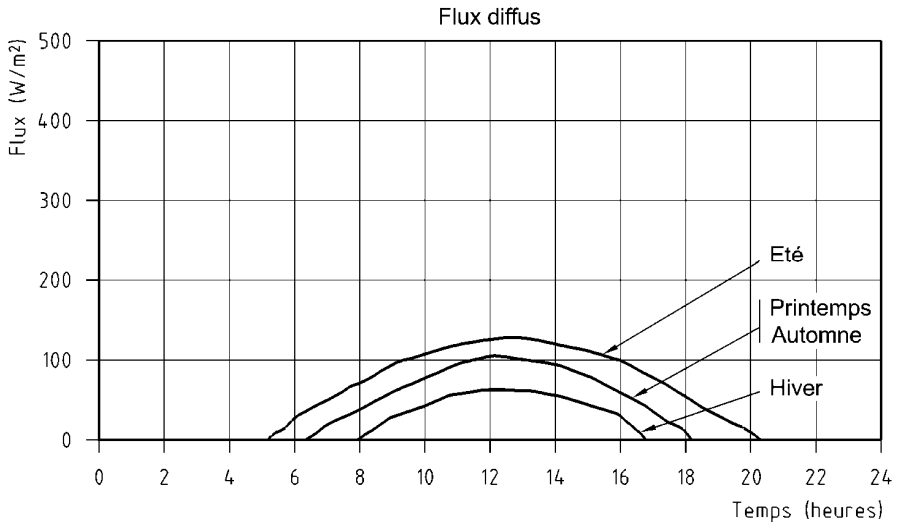


Figure 24 - Signaux de flux diffus

8.3 Conditions standard

Hypothèses ayant servi à élaborer les tableaux du paragraphe 11.3 .

	Vertical	Incliné
Flux	800 W/m^2	1 000 W/m^2
Température intérieure	25 °C	25 °C
Température extérieure	35 °C (été) – 12 °C (hiver)	35 °C (été) – 12 °C (hiver)

Les coefficients d'échanges superficiels sont ceux définis en 8.4 .

8.4 Coefficients d'échanges superficiels

Les valeurs des coefficients d'échanges superficiels utilisées sont :

	Verticaux ($\beta \geq 60°$)	**Inclinés** ($\beta < 60°$)
Côté intérieur	h_i = 9 W/m^2.K	h_i = 6 W/m^2.K (flux descendant) h_i = 11 W/m^2.K (flux ascendant)
Côté extérieur (hiver et mi-saison)	h_e = 11 W/m^2.K	h_e = 12 W/m^2.K
Côté extérieur (été)	h_e = 13 W/m^2.K	h_e = 14 W/m^2.K

Tableau 8 - Coefficients d'échanges superficiels

NOTE 1
La valeur de h_e en paroi verticale correspond à l'absence totale de vent, condition la plus défavorable vis-à-vis du risque de casse thermique.
NOTE 2 On suppose que la température de surface du vitrage extérieur est toujours supérieure à la température ambiante extérieure.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

9 Méthodes de calcul

La méthode générale permet le calcul en régime transitoire (ou varié) dans la plupart des cas de vitrages et de feuillures, et avec l'approche la plus fine des conditions réelles d'utilisation. Elle nécessite l'utilisation d'un logiciel. Elle ne s'applique pas aux cas suivants :

- Vitrages verticaux en châssis coulissant, traités en 10.1 ;
- Châssis à galandage, traités en 10.2 ;
- Vitrages situés devant une paroi opaque, traités en 10.3 ;
- Vitrages isolants à bords décalés, traités en 10.4 .

Les méthodes dites simplifiées (calcul en régime permanent, voir 9.2 , ou méthode manuelle, voir 9.3) permettent le calcul en régime permanent. Le domaine d'utilisation est limité aux feuillures à faible inertie thermique. Ces méthodes peuvent s'appliquer aux cas non traités par la méthode générale (vitrages verticaux en châssis coulissant, châssis à galandage, vitrages situés devant une paroi opaque, vitrages isolants à bords décalés), avec feuillure à faible inertie thermique.

On définit trois zones du vitrage :

- zone 1 : partie prise en feuillure à l'ombre. Les températures des verres en feuillures ont été calculées pour des conditions météorologiques types définies en 9.1.1.1 . Elles sont extrapolées aux conditions climatiques réelles ;
- zone 2 : partie centrale ensoleillée. Le flux solaire incident y a la valeur maximale ;
- zone 3 : partie centrale à l'ombre. Le flux solaire incident est réduit à sa partie diffuse.

9.1 Méthode générale, calcul en régime transitoire

La méthode est basée sur les hypothèses suivantes :

- la température du verre en zone 1 est indépendante des caractéristiques énergétiques des verres, et de l'orientation du vitrage. Elle ne dépend que de la nature de la feuillure et de son environnement ;
- les températures en zones 2 et 3 d'un vitrage sont indépendantes de la nature de la feuillure. Le modèle calcule à chaque instant les températures des verres dans les trois zones du vitrage, et l'écart de température maximal entre ces zones.

9.1.1 Températures des verres en feuillure (zone 1)

9.1.1.1 Signaux météorologiques

Les conditions météorologiques comportent quatre journées, représentant chacune une saison, avec une amplitude de température extérieure de 20 °C (voir Figure 25).

- hiver : (- 20 °C, + 0 °C) ;
- printemps : (- 10 °C, + 10 °C) ;
- été : (+ 10 °C, + 30 °C) ;
- automne : (0 °C, + 20 °C).

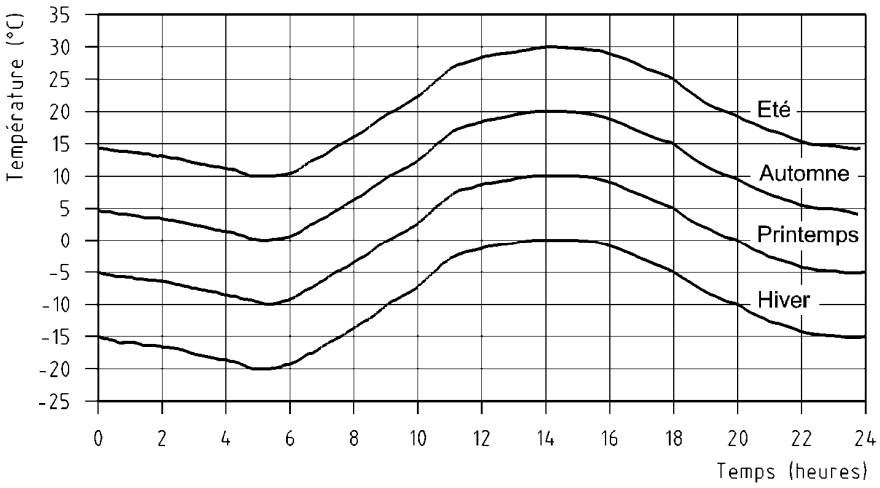


Figure 25 - Signaux de température extérieure de base

NOTE 1
Les réponses de feuillures ont été calculées dans le cas de doubles vitrages à intercalaire métallique et sont

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

considérées par défaut valables pour les intercalaires d'autre nature.
NOTE 2 Les calculs ont été effectués pour des menuiseries de couleur claire (cas le plus défavorable).

Les réponses de feuillures types à quatre signaux météorologiques, représentatifs d'une journée caractéristique de chaque saison, ont été déterminées en utilisant une méthode de calculs aux éléments finis.

9.1.1.2 Extrapolation à des conditions climatiques différentes

Un signal (i) de température peut être caractérisé par sa valeur médiane θ_{eim} et son amplitude $\delta\theta_{ei}$.

Pour une feuillure donnée, la réponse $\theta_i(t)$ d'un verre en feuillure au signal (i), a pour valeur médiane θ_{im} et pour amplitude $\delta\theta_i$. Les valeurs médianes de la réponse et du signal sur l'ensemble des signaux sont liés par la relation :

$$\theta_{im} = a_i + b_i \cdot \theta_{eim} \qquad \text{... (1)}$$

Pour cette même feuillure, la réponse du même verre à un signal climatique (i'), de valeur médiane $\theta_{ei'm}$ et d'amplitude $\delta\theta_{ei'}$, peut être obtenue, avec une erreur négligeable, par les formules suivantes :

— valeur médiane :

$$\theta_{i'm} = a_i + b_i \cdot \left(\theta_{ei'm} + \theta_d/2\right) - \theta_d/2 \qquad \text{... (2)}$$

— réponse :

$$\theta_{i'}(t) = \theta_{i'm} + \left(\theta_i(t) - \theta_{im}\right)\frac{\left(\delta\theta_{ei'} + \theta_d\right)}{\left(\delta\theta_{ei} + \theta_d\right)} \qquad \text{... (3)}$$

où θ_d est le terme correctif de l'influence du flux diffus :

$$\theta_d = 2 + \left(\theta_{ei'm} + 10\right)/15 \qquad \text{... (4)}$$

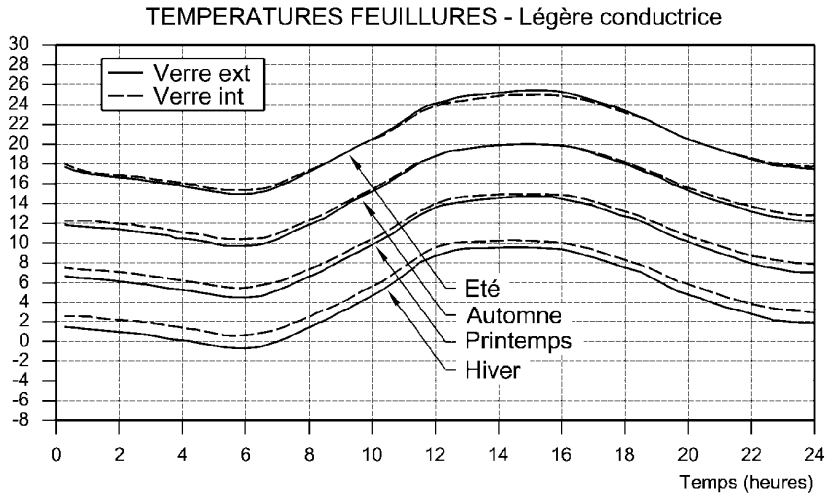
9.1.1.3 Bibliothèque de réponses

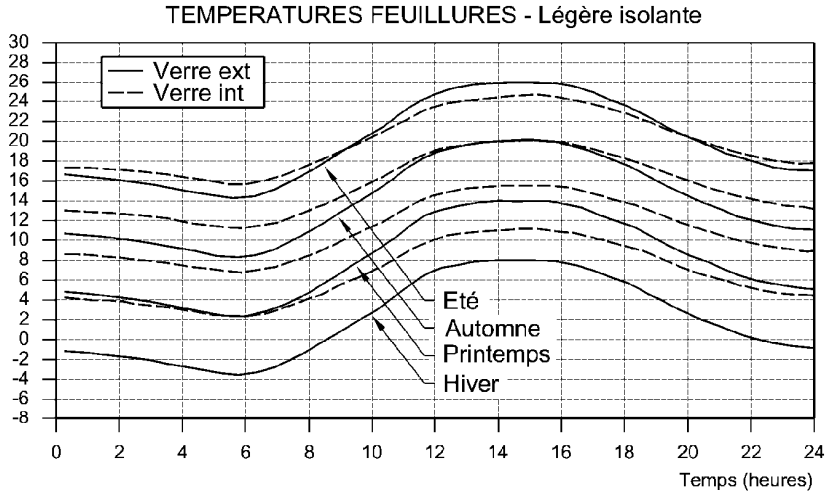
Les températures des chants des verres intérieur et extérieur en feuillure ont été calculées, à raison d'un point toutes les 15 min, avec les signaux météorologiques définis en 9.1.1.1 , soit 96 valeurs par verre et par cas. La Figure 26 présente ces valeurs pour les cinq types de feuillures et les quatre journées.

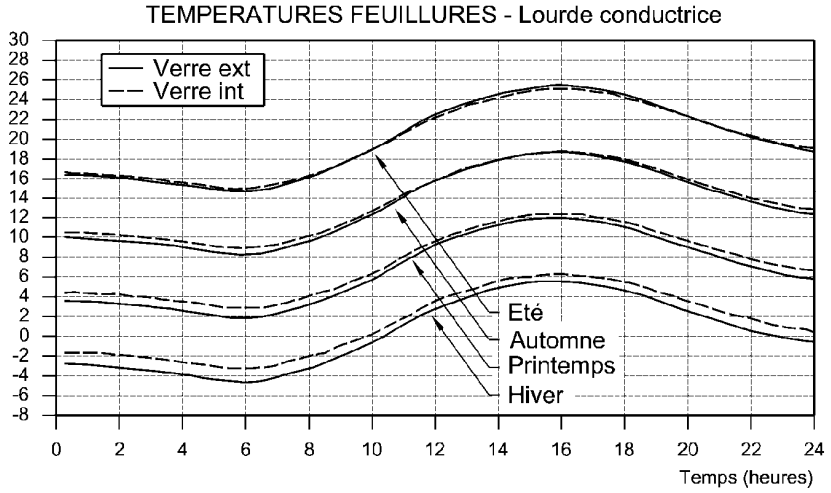
Dans le cas d'un simple vitrage, la température du verre en feuillure est calculée comme la moyenne des températures des deux verres du double vitrage, stockées en bilbliothèque. Ceci vaut également pour le verre central d'un triple vitrage.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

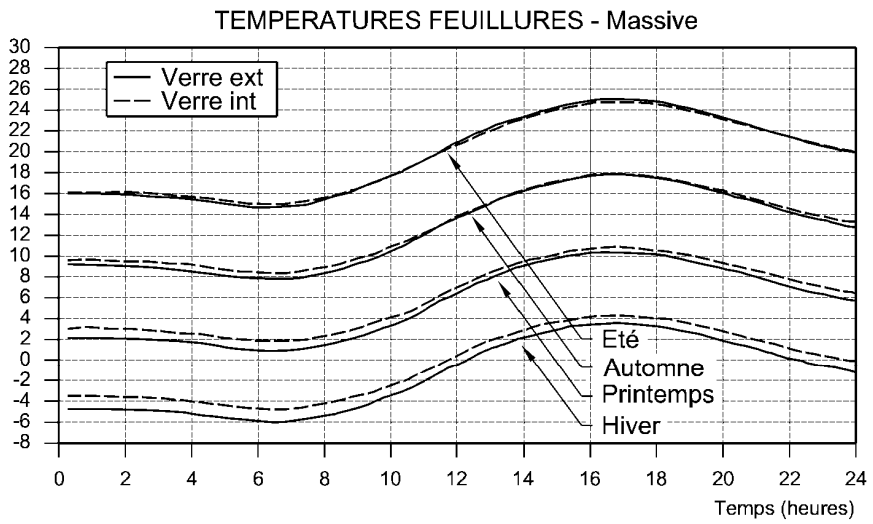






https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/



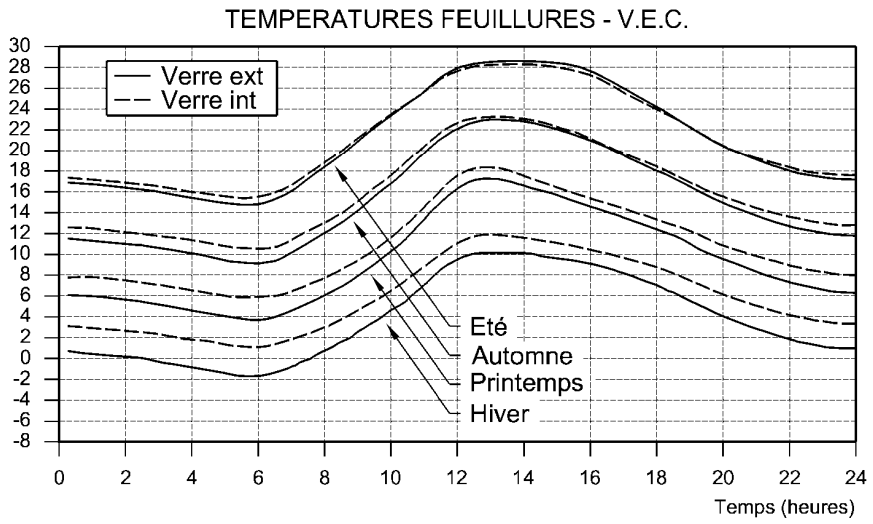


Figure 26 - Températures des chants des verres (bibliothèque de réponses)

9.1.2 Températures en zone centrale des vitrages (zones 2 et 3)

La méthode utilise la technique des différences finies en régime transitoire. La résistance thermique propre des verres est négligée.

Les inconnues du calcul sont les températures de chaque élément, verre, protection solaire ou fermeture, et lame (s) de gaz. A chaque composant correspond une équation.

Le calcul est effectué sans ombre portée (zone 2) et avec ombre portée (zone 3).

Les sollicitations climatiques considérées sont, pour chaque saison et orientation :

- un signal de température sur une période de 24 h, caractérisé par ses valeurs extrêmes (voir Figure 25) ;
- un signal de flux solaire incident sur la façade (flux total pour la partie ensoleillée, flux diffus pour la partie à l'ombre), comme indiqué en 8.2 .

Dans le cas d'un store, d'une protection solaire ou d'une fermeture mobiles, le calcul est effectué deux fois : position fermée et position ouverte.

9.1.2.1 Calcul des caractéristiques énergétiques globales

Pour un nombre (n) de composants, la méthode consiste à examiner, pour chaque composant, les valeurs du flux solaire transmis vers l'intérieur, réfléchi vers l'extérieur, et absorbé.

Les caractéristiques globales du vitrage, avec ou sans store, sont déterminées à partir de celles de chaque composant (suivant articles 6 et 7.4), et suivant NF EN 13363 .

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

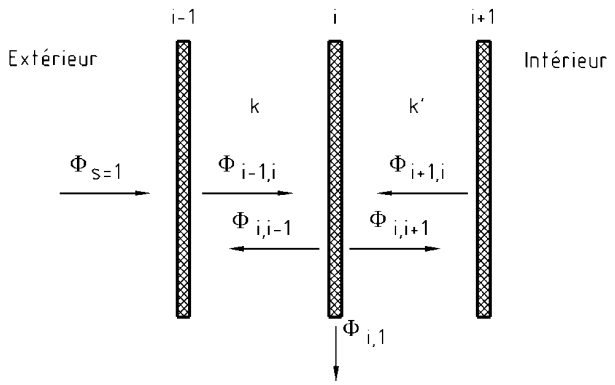


Figure 27 - Flux échangés - Notations

- Soit $\Phi_{i,i+1}$, le flux transmis de l'élément i vers l'élément i + 1.
- $\Phi_{i,i}$ est le flux absorbé par l'élément i.
- k et k' sont les indices des lames de gaz voisines de l'élément i.

Les calculs sont effectués pour un flux incident unitaire : $\Phi_s = 1$.

On notera avec l'indice 1, les caractéristiques énergétiques dans le sens direct, et avec l'indice 2, dans le sens réfléchi.

On supposera le local, côté intérieur, totalement absorbant. Si n est le nombre d'éléments :

$$\Phi_{n+1,n} = 0 \qquad \text{... (5)}$$

Le premier élément reçoit le flux incident :

$$\Phi_{0,1} = \Phi_S = 1 \qquad \text{... (6)}$$

On établit trois équations par élément i :

— flux transmis vers l'intérieur :

$$\Phi_{i,i+1} = \tau_{i,1} \times \Phi_{i-1,i} + \rho_{i,2.i} \times \Phi_{i+1,i} \qquad \text{... (7)}$$

— flux réfléchi vers l'extérieur :

$$\Phi_{i,i-1} = \rho_{i,1} \times \Phi_{i-1,i} + \tau_{i,2} \times \Phi_{i+1,i} \qquad \text{... (8)}$$

— flux absorbé par l'élément :

$$\Phi_{i,i} = \alpha_{i,1} \times \Phi_{i-1,i} + \alpha_{i,2} \times \Phi_{i-1,i} \qquad \text{... (9)}$$

On constitue ainsi un système de 3n équations aux 3n inconnues : $\Phi_{i,i+1}, \Phi_{i,i}, \Phi_{i,i-1}$.

La résolution permet d'obtenir les caractéristiques globales de l'ensemble des éléments :

$$\tau_e = \Phi_{n,n+1} \qquad \text{... (10)}$$

$$\rho_e = \Phi_{1,0} \qquad \text{... (11)}$$

et les absorptions effectives :

$$\alpha_{ie} = \Phi_{i,i} \qquad \text{... (12)}$$

$$\alpha_e = \sum_{1}^{n} \alpha_{ei} \qquad \text{... (13)}$$

9.1.2.2 Température d'un composant verrier i

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

L'élévation de température du composant i pendant l'intervalle de temps dt est donnée par :

$$e_i \cdot c_v \cdot \rho_v \cdot \frac{d\theta_i}{dt} = \sum_{j=1}^{n} hr_{ij} \cdot \left(\theta_j - \theta_i\right) + hc_{ij} \cdot \left(\theta_k - \theta_i\right) + \alpha e_i \cdot \Phi \qquad \text{... (14)}$$

Pour les composants extrêmes, côtés intérieur et extérieur, viennent s'ajouter les termes :

- côté intérieur : $+ h_i . (\theta_{ai} - \theta_i)$
- côté extérieur : $+ h_e . (\theta_{ae} - \theta_i)$.

θ_{ai} et θ_{ae} sont les températures ambiantes respectivement côtés intérieur et extérieur.

Les coefficients hr_{ij} et hc_{ij} dépendent des températures θ_k et θ_j et de l'émissivité moyenne des faces et de l'épaisseur et de la nature du gaz. Ils sont recalculés à chaque pas de température suivant NF EN 673 .

9.1.2.3 Température d'une lame de gaz fermée k entre deux éléments, sans autre élément incorporé

L'élévation de température de la lame de gaz pendant l'intervalle de temps dt est donnée par :

$$e_k \cdot c_a \cdot \rho_a \cdot \frac{d\theta_k}{dt} = \sum_{j=1}^{n} hc_{kj} \cdot \left(\theta_k - \theta_j\right) \qquad \text{... (15)}$$

9.1.2.4 Température d'une lame d'air ventilée en présence d'un store ou d'une protection solaire

La ventilation éventuelle de l'espace entre store et verre est représentée par l'introduction d'un facteur K_x d'échanges entre deux lames d'air ou ambiances séparées par un store. Pour une lame d'air (k) voisine d'une lame (l), l'équation devient :

$$e_k \cdot c_a \cdot \rho_a \cdot \frac{d\theta_k}{dt} = \sum hc_{kj} \cdot \left(\theta_k - \theta_j\right) + K_x \cdot \left(\theta_k - \theta_l\right) \qquad \text{... (16)}$$

Le calcul du facteur K_x est détaillé en Annexe A .

9.1.3 Calcul des écarts de température δθ

Pour chaque composant, à chaque pas de temps, on dispose des valeurs des températures maximale et minimale en zone centrale (zones 2 et 3) et de la température en feuillure (zone 1).

L'écart de température maximal δθ sur le composant est calculé par différence. Il est comparé à une valeur limite donnée en 11.2 .

9.2 Méthode simplifiée - Calcul en régime permanent

L'application est limitée aux simples ou doubles vitrages, mis en oeuvre dans des feuillures à inertie thermique faible, selon 7.1.1 , avec ou sans store intérieur.

La vérification est effectuée en régime permanent, en conditions d'hiver et d'été.

Les conditions climatiques à considérer sont :

- pour la partie en feuillure, les hypothèses du paragraphe 9.1 ;
- pour la partie centrale du vitrage, le flux solaire maximal donné en 8.2.1 ;
- pour la partie centrale du vitrage à l'ombre, le flux solaire diffus égal à 10 % de la valeur maximale ;
- en conditions d'été, la température maximale donnée par zone en 8.1.1 ;
- en conditions d'hiver, la température extérieure minimale donnée à l'article 8.1.1 , relevée de 5 °C pour tenir compte de l'élévation de la température extérieure en présence d'ensoleillement ;

Les coefficients d'échange superficiels et la température intérieure des locaux sont donnés en 8.4 et 8.1.3 .

Les caractéristiques énergétiques des composants (vitrages, protections solaires et fermetures) sont conformes au 6.1 .

9.2.1 Calcul des températures en feuillure à l'ombre

La méthode consiste à calculer la température commune des verres en feuillure à l'ombre comme moyenne de celles des verres considérés individuellement en partie courante à l'ombre (zone 3). Ces températures sont calculées suivant 9.2.2 , avec les flux donnés en 8.2.1 .

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

9.2.2 Calcul des températures en partie centrale du vitrage (zones 2 et 3)

On considère l'équilibre thermique de chaque composant et des lames d'air situées entre deux composants.

A chaque pas de température, les températures des vitrages sont calculées avec les valeurs de hc et hr correspondantes et les flux correspondant à chaque cas. Elles sont recalculées à chaque itération, jusqu'à convergence des résultats.

9.2.2.1 Bilan thermique d'un élément *(vitrage ou store)*

Le calcul étant effectué en régime permanent, un vitrage est en équilibre sous l'ensemble :

- des échanges par convection avec les lames d'air voisines ;
- des échanges radiatifs avec les éléments voisins ;
- du flux absorbé ;
- le cas échéant, des échanges globaux avec une ambiance intérieure ou extérieure.

Soit pour l'élément (i), échangeant avec les lames d'air (j) et les éléments (k) :

$$\alpha_{ie} \cdot \Phi_s = \sum_j hc_{ij} \cdot \left(\theta_i - \theta_j\right) + \sum_k hr_{ik} \cdot \left(\theta_i - \theta_k\right) \qquad \text{... (17)}$$

Les coefficients d'échanges convectifs hc_{ij} et radiatifs hr_{ik} dépendent des températures θ_i et θ_j et de l'émissivité moyenne des faces, ils sont calculés suivant NF EN 673 .

Pour les éléments extrêmes, on a les termes d'échanges :

- premier élément : $h_i(\theta_i - \theta_{ai})$;
- dernier élément : $h_e(\theta_i - \theta_{ae})$.

Le cas d'un store perméable au rayonnement infrarouge peut être traité comme en A.1 .

9.2.2.2 Bilan thermique d'une lame d'air

Une lame d'air est en équilibre thermique sous l'ensemble :

- des échanges par convection avec les vitrages ou les stores ou protections solaires (j) qui la limitent ;
- dans le cas du contact avec un store, des échanges d'air avec la lame d'air ou l'ambiance (k) située de l'autre côté du store.

Soit :

$$\sum_j hc_j \cdot \left(\theta_i - \theta_{vj}\right) + \sum_k K_x \cdot \left(\theta_i - \theta_k\right) = 0 \qquad \text{... (18)}$$

Le coefficient d'échanges par ventilation K_x est calculé suivant l'Annexe A .

9.2.3 Calcul des écarts de température

L'écart de température à considérer pour un verre est l'écart maximal obtenu par différence entre trois zones :

- la zone prise sous feuillure à l'ombre (zone 1) ;
- la zone centrale soumise à l'ensoleillement (zone 2) ;
- la zone centrale à l'ombre (zone 3).

	Verre extérieur	**Verre intérieur**
Soleil (zone 2)	θ_2 ext	θ_2 int
Ombre (zone 3)	θ_3 ext	θ_3 int
Feuillure (zone 1)	$\theta_1 ext = \frac{\theta_3 ext + \theta_3 int}{2}$	$\theta_1 int = \frac{\theta_3 ext + \theta_3 int}{2}$
Écart de température	Max (θ_2 ext – θ_3 ext , θ_2 ext – θ_1 ext)	Max (θ_2 int – θ_3 int , θ_2 int – θ_1 int)

L'écart de température maximal calculé est comparé aux valeurs des tableaux en 11.2.2 .

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

9.3 Méthode simplifiée manuelle

L'application est limitée aux simples ou doubles vitrages, mis en oeuvre dans des feuillures à inertie thermique faible, selon 7.1.1 , avec ou sans store intérieur.

La vérification est effectuée en régime permanent, en conditions d'hiver et d'été.

Les conditions climatiques à considérer sont :

- pour la partie en feuillure, les hypothèses du paragraphe 9.1 , à l'exception de la température extérieure minimale, qui ne doit pas être corrigée de 5 °C ;
- pour la partie centrale du vitrage, le flux solaire maximal donné en 8.2.1 ;
- pour la partie centrale du vitrage à l'ombre, le flux solaire diffus égal à 10 % de la valeur maximale ;
- en conditions d'été, la température maximale donnée par zone en 8.1.1 ;
- en conditions d'hiver, la température extérieure minimale donnée à l'article 8.1.1 , relevée de 5 °C pour tenir compte de l'élévation de la température extérieure en présence d'ensoleillement ;

Les coefficients d'échange superficiels et la température intérieure des locaux sont donnés en 8.4 et 8.1.3 .

Les caractéristiques énergétiques des composants (vitrages, protections solaires et fermetures) sont conformes au 6.1 .

9.3.1 Température en feuillure (zone 1)

La température de cette zone est :

$$\theta_1 = \left(h_i \cdot \theta_{ai} + h_e \cdot \theta_{ae}\right) / \left(h_i + h_e\right) \qquad \text{... (19)}$$

9.3.2 Calcul des températures des vitrages (zone 2)

9.3.2.1 Simple vitrage sans store

$$\theta_2 = \frac{h_i \cdot \theta_{ai} + h_e \cdot \theta_{ae} + \alpha_e \cdot \Phi}{h_i + h_e} \qquad \text{... (20)}$$

α_e est le coefficient d'absorption énergétique du vitrage.

9.3.2.2 Double vitrage sans store

Soit R_o la résistance thermique nominale du vitrage, et Ug, le coefficient de transmission thermique suivant NF EN 673 :

$$(R_o = 1/Ug - 0{,}17) \qquad \text{... (21)}$$

Soit R la résistance thermique effective du vitrage :

— en conditions d'hiver

$$R = 0{,}92\ R_o \qquad \text{... (22)}$$

— en conditions d'été

$$R = 0{,}78\ R_o \qquad \text{... (23)}$$

On pose :

$$h_t = 1/R \qquad \text{... (24)}$$

Les températures des vitrages sont données par :

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

$$\theta_{v1} = \frac{h_t \cdot \left(h_i \cdot \theta_{ai} + \alpha_{2e} \cdot \Phi\right) + (h_i + h_t) \cdot \left(h_e \cdot \theta_{ae} + \alpha_{1e} \cdot \Phi\right)}{\left(h_i + h_t\right) \cdot \left(h_e + h_t\right) - h_t^2} \quad \text{... (25)}$$

$$\theta_{v2} = \frac{h_t \cdot \left(h_e \cdot \theta_{ae} + \alpha_{1e} \cdot \Phi\right) + \left(h_e + h_t\right) \cdot \left(h_i \cdot \theta_{ai} + \alpha_{2e} \cdot \Phi\right)}{\left(h_i + h_t\right) \cdot \left(h_e + h_t\right) - h_t^2} \quad \text{... (26)}$$

θ_{v1} et θ_{v2} sont définis à l'Article 4 .

9.3.2.3 Simple vitrage avec store intérieur non ventilé
Les formules du 9.3.2.2 s'appliquent, le store intérieur étant assimilé au vitrage intérieur.

9.3.2.4 Simple vitrage avec store intérieur ventilé

$$h_x = \frac{K_x \cdot h_c}{2 \cdot \left(K_x + 2 \cdot h_c\right)} \quad \text{... (27)}$$

Avec les coefficients d'échange radiatifs ci-après pour la lame d'air entre le vitrage (1) et store (2) :

- h_x = 1,4 W/m².K
- h_t = 6,2 W/m².K
- K_x selon Annexe A

La température du vitrage (1) est donnée par :

$$\theta_{v1} = \frac{\left(h_t + h_x\right) \cdot \left(h_i \cdot 2h_x \cdot \theta_{ai} + \alpha_{2e} \cdot \Phi\right) + \left(h_i + h_t + h_x\right) \cdot \left(h_e \cdot \theta_{ae} \cdot 2h_x \cdot \theta_{ai} + \alpha_{1e} \cdot \Phi\right)}{\left(h_i + h_t + h_x\right) \cdot \left(h_e + h_t + h_x\right) - \left(h_t - h_x\right)^2} \quad \text{... (28)}$$

soit, pour un vitrage vertical :

$$\theta_1 = \frac{4{,}8 \cdot \left(11{,}8 \cdot \theta_{ai} + \alpha_{2e} \cdot \Phi\right) + (16{,}6) \cdot \left(11 \cdot \theta_{ae} + 2{,}8 \cdot \theta_{ai} + \alpha_{1e} \cdot \Phi\right)}{285{,}72} \quad \text{... (29)}$$

9.3.2.5 Double vitrage avec store intérieur ventilé
Si θ_3 est la température du store (3), θ_a la température de la lame d'air entre le vitrage intérieur (2) et le store. Les températures sont les solutions du système :

$$h_e \cdot \left(\theta_1 - \theta_{ae}\right) + h_t \cdot \left(\theta_1 - \theta_2\right) = \alpha_{1e} \cdot \Phi \quad \text{... (30)}$$

$$h_t \cdot \left(\theta_2 - \theta_1\right) + h_c \cdot \left(\theta_2 - \theta_a\right) + h_r \cdot \left(\theta_2 - \theta_3\right) = \alpha_{2e} \cdot \Phi \quad \text{... (31)}$$

$$h_i \cdot \left(\theta_3 - \theta_{ai}\right) + h_c \cdot \left(\theta_3 - \theta_a\right) + h_r \cdot \left(\theta_3 - \theta_2\right) = \alpha_{3e} \cdot \Phi \quad \text{... (32)}$$

$$h_c \cdot \left(\theta_a - \theta_2\right) + h_c \cdot \left(\theta_a - \theta_3\right) + h_x \cdot \left(\theta_a - \theta_{ai}\right) = 0 \quad \text{... (33)}$$

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Pour un vitrage vertical, avec les valeurs courantes :
he = 11 hi = 9 hc = 2,4 hr = 5 K_x = 20
Les températures des verres peuvent être obtenues par :

$$\theta_{v1} = \frac{5{,}46 \cdot h_t \cdot \theta_{ai} + 11 \cdot \left(h_t + 5{,}46\right) \cdot \theta_{ae} + \left[\left(h_t + 5{,}46\right) \cdot \alpha_{1e} + h_t \cdot \left(\alpha_{2e} + 0{,}324 \cdot \alpha_{3e}\right)\right] \cdot \Phi}{60{,}06 + 16{,}46 \cdot h_t} \quad \text{... (34)}$$

$$\theta_{v2} = \frac{5{,}46 \cdot \left(11 + h_t\right) \cdot \theta_{ai} + 11 \cdot h_t \cdot \theta_{ae} + \left[\left(11 + h_t\right) \cdot \left(\alpha_{2e} + 0{,}324 \cdot \alpha_{3e}\right) + h_t \cdot \alpha_{1e}\right] \cdot \Phi}{60{,}06 + 16{,}46 \cdot h_t} \quad \text{... (35)}$$

9.3.3 Ecart de température

Pour chaque cas de température et de flux, on calcule l'écart de température pour chaque verre par différence entre les valeurs en zone 1, zone 2 et zone 3.
L'écart de température δθ maximal est comparé à l'écart admissible donné en 11.2.2 .

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

10 Cas particuliers

10.1 Vitrages verticaux en châssis coulissant

Les risques de casse thermique peuvent être évalués :

- soit pour des configurations simples sur la base de coefficients d'absorption à ne pas dépasser, conformément au 11.3.5 , pour utiliser du verre recuit ;
- soit par calcul des écarts de température entre les différentes parties du vitrage comme exposé ci-dessous.

10.1.1 Méthode des coefficients d'absorption

Les valeurs d'absorption maximales de vitrages sont données dans les tableaux du 11.3.5 .

10.1.2 Méthode des écarts de température

L'application de cette méthode simplifiée est limitée aux doubles vitrages.

Lors de l'ouverture partielle ou totale du châssis coulissant, l'écart de température entre les ambiances extérieure et intérieure ne dépasse pas 5 °C pendant une durée significative.

Si le châssis est peu ouvert, la zone chaude correspondant à la superposition des verres est étroite et n'engendre que de faibles contraintes thermiques dans les zones froides du vitrage. Si le châssis est largement ouvert, la température intérieure est peu différente de la température extérieure.

Les conditions les plus critiques sont celles où la température extérieure est la plus basse. Il est peu probable cependant que le châssis soit largement ouvert lorsque la température extérieure est inférieure à 15 °C.

10.1.2.1 Conditions climatiques

Températures ambiantes :

θ_{ae} = 15 °C θ_i = 20 °C

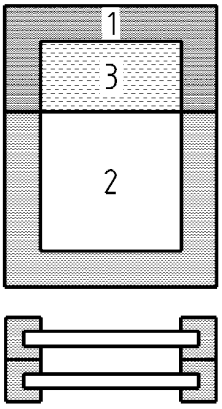
avec les coefficients d'échanges superficiels conformes au 8.4 .

Le flux solaire incident, selon l'orientation, est donné en 8.2.1 .

10.1.2.2 Ventilation

10.1.2.2.1 Vitrages totalement superposés

Sauf dispositions particulières, la lame d'air entre les deux vantaux n'est pas ventilée.



Légende

1 Verre au soleil

2 Verre à l'ombre

3 Verre en feuillure

Figure 28 - Vitrages totalement superposés

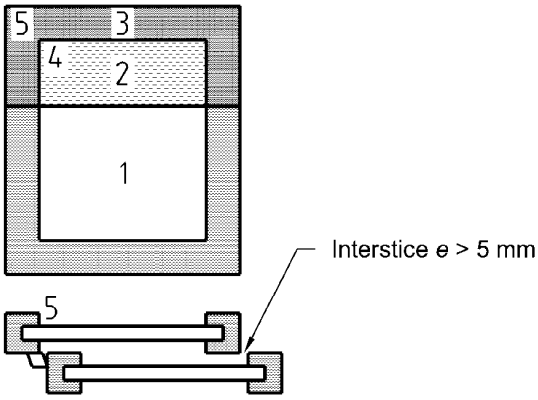
10.1.2.2.2 Vitrages partiellement ventilés

Il existe des interstices latéraux de 5 mm au minimum entre les deux verres. Ces interstices assurent une ventilation partielle.

Un tel dispositif peut être assuré par exemple par une butée empêchant la fermeture totale de la lame d'air au niveau des menuiseries, ou par tout autre moyen équivalent (Figures 29 et 30).

https://www.engcopilot.com/

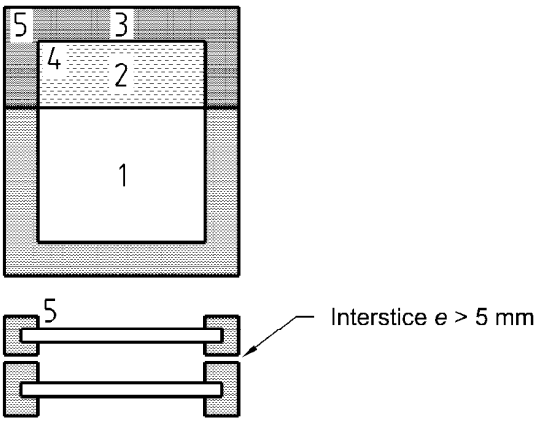
https://www.engcopilot.com/



Légende

1 Verre au soleil
2 Verre à l'ombre
3 Verre en feuillure à l'ombre
4 Clair de vitrage à l'ombre
5 Feuillures des verres à l'ombre

Figure 29 - Vitrages partiellement superposés avec butée de ventilation



Légende

1 Verre au soleil
2 Verre à l'ombre
3 erre en feuillure à l'ombre
4 Clair de vitrage à l'ombre
5 Feuillures des verres à l'ombre

Figure 30 - Vitrages totalement superposés avec interstice de ventilation

10.1.2.3 Vitrages totalement superposés non ventilés

La méthode simplifiée du 9.2 est applicable. Le système est équivalent à un quadruple vitrage.

L'écart de température permettant le calcul de la contrainte thermique est calculé pour chaque verre (Figure 28), entre :

- les verres en feuillure à l'ombre (zone 1) ;
- les quatre verres au soleil (zone 2) ;
- les quatre verres à l'ombre, recevant uniquement un flux diffus (zone 3).

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Pour chaque double vitrage, la température commune des deux verres en feuillure à l'ombre est la moyenne des températures des deux verres à l'ombre.

10.1.2.4 Vitrages partiellement ventilés

La méthode simplifiée du 9.2 est applicable.

L'écart de température est calculé pour chaque verre entre les cas suivants (figures 29 et 30) :

- les quatre verres au soleil (zone 1) ;
- les quatre verres à l'ombre (zone 2) ;
- les feuillures des quatre verres à l'ombre (zone 3) ;
- les clairs de vitrages à l'ombre (zone 4) ;
- les feuillures des deux verres libres à l'ombre (zone 5).

La ventilation de la lame d'air sur l'air extérieur entre les deux vitrages est prise en compte par le biais d'un coefficient d'échanges K_x calculé comme suit :

$$K_x = \frac{90 \cdot e \cdot \sqrt{H} \cdot \sqrt{\delta\theta}}{B} \qquad \text{... (36)}$$

- e étant la largeur de l'interstice (en m),
- B étant la largeur du vantail (m),
- H sa hauteur (m),
- δθ l'écart de température entre la lame d'air et l'extérieur.

L'écart de température calculé doit être inférieur à l'écart admissible conformément à 11.2.2 .

10.2 Châssis à galandage

En position semi - ouverte, les châssis à galandage comportent une partie du vitrage dissimulée à l'intérieur du mur. La température des vitrages est fonction de leur position par rapport à l'isolation de la paroi.

Les conditions climatiques à considérer sont celles du 10.1.2.1 .

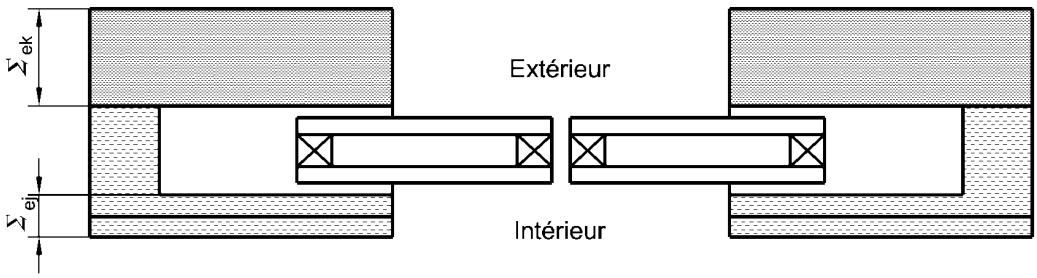


Figure 31 - Châssis à galandage

Soit $\sum Ri$ la somme des résistances thermiques du système d'isolation côté intérieur par rapport au vitrage

$$\sum Ri = \sum_j \frac{e_j}{\lambda_j} + \frac{2}{h_i} \qquad \text{... (37)}$$

Soit $\sum Re$ la somme des résistances thermiques côté extérieur par rapport au vitrage

$$\sum Re = \sum_m \frac{e_m}{\lambda_m} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \qquad \text{... (38)}$$

e_m épaisseur de la couche de matériau m,

λ_m conductivité thermique du matériau k.

La température θ_{v0} de la partie du vitrage située à l'intérieur du mur peut être calculée comme suit :

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

$$\theta_{v0} = \frac{\sum Re \cdot \theta_{ai} + \sum Ri \cdot \theta_{ae}}{\sum Ri + \sum Re} \quad \text{... (39)}$$

Cette température est la température minimale à considérer, à comparer à la température maximale du vitrage au soleil, avec store le cas échéant. L'écart de température correspondant doit être inférieur à l'écart admissible conformément à 11.2 .

10.3 Vitrages situés devant une partie opaque

Les vitrages situés partiellement ou totalement devant une partie opaque, suivant 7.5 , présentent un risque d'échauffement local ou global.

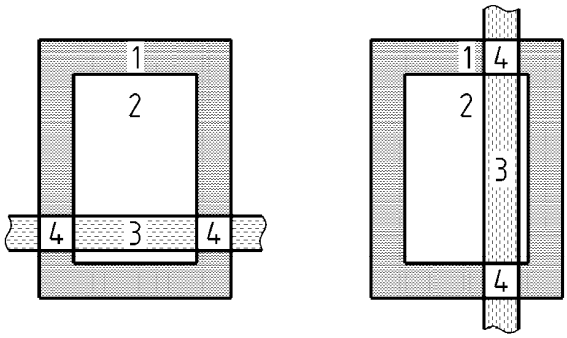
10.3.1 Conditions climatiques

Le calcul doit être effectué en conditions d'hiver et en conditions d'été selon l'Article 8 .

10.3.2 Ventilation

Les espaces périphériques latéraux, supérieurs et inférieurs assurant la ventilation éventuelle entre le vitrage et la partie opaque, doivent être précisés conformément au 7.5.1 .

10.3.3 Méthode de calcul en régime permanent



Légende

1 Partie courante et en feuillure à l'ombre, loin de la partie opaque
2 Partie courante au soleil
3 Partie courante au soleil située devant la partie opaque
4 Partie courante et en feuillure supposée à l'ombre

Figure 32 - Vitrage situé devant une partie opaque

Lorsqu'un vitrage est situé en totalité devant une partie opaque, l'écart de température est évalué entre :

- la partie courante au soleil devant la partie opaque (zone 3) ;
- et la partie courante et en feuillure supposée à l'ombre (zone 4).

Si le vitrage est situé partiellement devant une partie opaque, l'écart de température maximal est calculé entre :

- la partie courante au soleil située devant la partie opaque (zone 3) ;
- la partie courante et en feuillure à l'ombre, loin de la partie opaque (zone 1).

Les températures du vitrage devant l'obstacle sont calculées en tenant compte de :

- la résistance thermique de la partie opaque ;
- l'absorption énergétique de la surface de la partie opaque ;
- la ventilation de l'espace entre le vitrage et la partie opaque.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

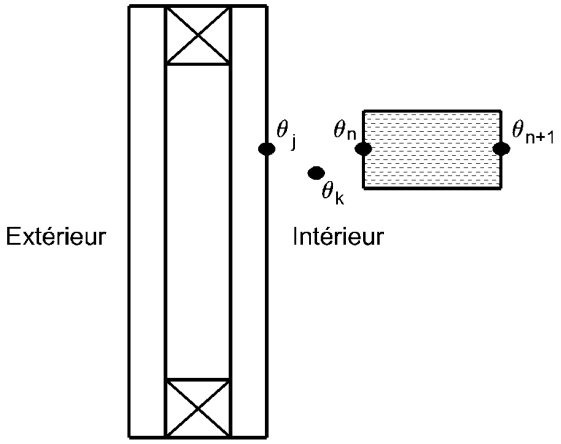


Figure 33 - Températures des éléments - notations

Le calcul de la température de la lame d'air se fait comme indiqué en 9.2.2.2 à partir des dimensions de la partie opaque vue au travers du vitrage, et des interstices bas, haut et latéraux permettant à l'air chaud de s'échapper de cet espace.

Le bilan thermique des noeuds n et n+1 de la partie opaque s'écrit :

Nœud n, échangeant avec le verre j, la lame d'air k, et le nœud arrière n+1 :

$$\alpha_{ne} \cdot \Phi_s = h_{mj}\left(\theta_n - \theta_j\right) + h_{cnk}\left(\theta_n - \theta_k\right) + \left(\theta_n - \theta_{n+1}\right) / R \qquad \text{... (40)}$$

Nœud n+1, échangeant avec le nœud avant n et l'ambiance intérieure i :

$$h_i\left(\theta_{n+1} - \theta_{ai}\right) + \left(\theta_{n+1} - \theta_n\right) / R = 0 \qquad \text{... (41)}$$

L'écart de température maximal doit être inférieur à l'écart admissible conformément à 11.2.2 .

10.4 Vitrages isolants à bords décalés

Lorsque les vitrages posés par exemple en bande filante (se reporter au 11.3 de la NF P 78-201-1 - DTU 39 - CCT) ou en vitrages extérieurs collés, comportent un vitrage extérieur plus grand que celui de l'intérieur et lorsque le décalage est supérieur à cinq fois l'épaisseur de verre extérieur, ce dernier doit être à haute résistance thermique, conformément à l'article 6 .

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

11 Exigences et critères

Les méthodes de calculs données précédemment peuvent être exploitées de trois manières différentes :

- la comparaison entre la contrainte thermique et la contrainte admissible ;
- la comparaison entre l'écart de température maximal et l'écart admissible ;
- la comparaison entre le coefficient d'absorption du vitrage et un coefficient d'absorption maximal.

Le risque de casse par choc thermique dépend de la nature des produits verriers, de la finition des chants du vitrage, de sa mise en oeuvre et de son inclinaison. Dans certains cas, un façonnage des arêtes conforme au 6.3 réduit ce risque et permet de prendre en compte des valeurs admissibles plus élevées pour la contrainte, l'écart de température ou le coefficient d'absorption.

11.1 Comparaison des contraintes

La contrainte σ_{th} résultant d'un écart de température $\delta\theta$ entre deux zones du verre (1 et 2) ou (1 et 3) doit rester inférieure à la contrainte thermique admissible σ_{adm} :

$$\sigma_{th} < \sigma_{adm} \qquad \text{... (42)}$$

et

$$\sigma_{adm} = k_v \cdot k_a \cdot \sigma_{vm} \qquad \text{... (43)}$$

Selon l'inclinaison du vitrage par rapport à l'horizontale, une part plus ou moins importante des contraintes est due à son poids propre.

11.1.1 Calcul de la contrainte thermique σ_{th}

$$\sigma_{th} = k_t \cdot E \cdot \alpha \cdot \delta\theta \qquad \text{... (44)}$$

Les valeurs de E et α doivent prendre en compte la nature du verre.
Le coefficient k_t est donné dans le Tableau 9 . Il est fonction de la présence ou non d'ombre portée, et de la nature des feuillures.

	VEC et faible inertie thermique	Inertie thermique moyenne	Inertie thermique forte
Avec ombre portée	$k_t = 0,90$	$k_t = 1,00$	$k_t = 1,10$
Sans ombre portée, selon 7.3	$k_t = 0,80$	$k_t = 0,95$	$k_t = 1,10$

Tableau 9 - Coefficient k_t

La contrainte thermique calculée σ_{th} est comparée à la valeur admissible σ_{adm} , suivant le paragraphe 11.1 .

11.1.2 Contrainte de travail dans le verre σ_{vm}

Le tableau ci-dessous donne, en fonction de la nature du verre, la contrainte de travail admissible dans les verres en position verticale vis-à-vis de risques de casse thermique.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Recuit	20
Armé	16
Durci	35
Trempé thermiquement	50
Émaillé trempé	35
Imprimé recuit	18
Imprimé trempé	40
Imprimé émaillé trempé	30
Imprimé armé	16

Tableau 10 - Contraintes de travail σ_{vm} (MPa)

Les vitrages dépolis à l'acide industriellement ont des caractéristiques mécaniques à celle d'un vitrage recuit. Le traitement de surface par enlèvement de matière (sablage) entraîne l'application d'un coefficient réducteur de 0,80 sur la contrainte de travail σ_{vm} . L'enlèvement de matière par grenaillage ou gravure entraîne l'application d'un coefficient réducteur de 0,60 sur la contrainte de travail σ_{vm} .

11.1.3 Coefficient k_v de sensibilité du verre au choc thermique

Le coefficient k_v dépend de la nature du produit verrier et de sa transformation. Il s'applique à chaque composant individuel ou au vitrage assemblé en feuilleté, avec une finition des chants définie en 6.3 .

Nature	Vitrage scié	Vitrage recuit brut de coupe	Vitrage recuit façonné
Verre monolithique	—	1,00	1,20
Verre feuilleté symétrique (voir 3.5) avec tous les composants ≥ 4 mm	0,75	1,00	1,20
Verre feuilleté symétrique (voir 3.5) avec un des composants ≤ 3mm	—	0,75	1,00
Verre feuilleté non symétrique	0,70	0,75	1,00
Verre armé	—	0,80	—
Verre imprimé	—	1,00	1,00

Tableau 11 - Valeurs du coefficient k_v

11.1.4 Coefficient k_a dépendant de l'inclinaison du vitrage et de ses conditions d'appui

Des contraintes dues au poids propre du verre peuvent se superposer aux contraintes d'origine thermique. Cet effet est particulièrement sensible lorsque le vitrage n'est pas en appui sur toute sa périphérie.

Le tableau 12 donne les valeurs du coefficient k_a en fonction de l'inclinaison par rapport à l'horizontale.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Vitrage en appui sur	Angle par rapport à l'horizontale		
	$\beta \geq 60°$	$60° > \beta \geq 30°$	$\beta < 30°$
Toute la périphérie	1,00	0,90	0,80
Autres cas	0,80	0,65	0,50

Tableau 12 - Valeurs du coefficient k_a

11.1.5 Contraintes thermiques admissibles

Les Tableaux 13 et 14 donnent les valeurs σ_{adm} calculées pour les verres recuits et les verres ayant subi un traitement thermique.

La nature des vitrages de toiture doit également satisfaire aux exigences de la NF P 78-201-5 (Mémento Sécurité du DTU 39).

Type de verre	Appui	Avec ombre portée		
		$\beta \geq 60°$	$60° > \beta \geq 30°$	$\beta < 30°$
— monolithique façonné — feuilleté symétrique façonné, avec tous les composants ≥ 4 mm	Périphérique	24	22	19
	Autres	19	16	12
— monolithique brut de coupe — feuilleté symétrique brut de coupe, avec tous les composants ≥ 4 mm — feuilleté, symétrique façonné, avec un des composants ≤ 3 mm — feuilleté non symétrique façonné	Périphérique	20	18	16
	Autres	16	13	10
— imprimé brut de coupe ou façonné	Périphérique	18	16	14
	Autres	14	12	9
— feuilleté non symétrique brut de coupe — feuilleté brut de coupe, avec un des composants ≤ 3 mm — feuilleté symétrique scié, avec tous les composants ≥ 4 mm	Périphérique	15	13	11
	Autres	11	10	8
— feuilleté non symétrique scié	Périphérique	14	12	10
	Autres	10	9	7
— armé	Périphérique	13	14	13
	Autres	10	10	8

Tableau 13 - Verres non traités thermiquement - σ_{adm} (MPa)

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Type de verre	Appui sur	Avec ombre portée		
		$\beta \geq 60°$	$60° > \beta \geq 30°$	$30° > \beta$
Durci ou émaillé trempé	Périphérie	87	79	70
	Autres	79	57	44
Trempé	Périphérie	125	112	100
	Autres	125	112	100
Imprimé trempé	Périphérie	100	90	80
	Autres	80	65	50
Imprimé trempé émaillé	Périphérie	75	67	60
	Autres	60	49	38

Tableau 14 - Verres ayant subi un traitement thermique - σ_{adm} (MPa)

11.1.6 Dépassement de la contrainte admissible

Les vitrages pour lesquels la contrainte est dépassée, sous l'effet de l'ensoleillement, doivent être choisis parmi les vitrages à haute résistance thermique définis à l'article 6 .

11.2 Comparaison des écarts de températures

Les vitrages pour lesquels l'écart critique est dépassé, sous l'effet de l'ensoleillement, doivent être choisis parmi les vitrages à haute résistance thermique définis à l'article 6 .

11.2.1 Ecart de température admissible dans les verres

Les formules précédentes permettent de calculer, en fonction du type de feuillure, un écart de température admissible $\delta\theta_{adm}$.

avec :

$$\delta\theta_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{K_t \cdot E \cdot \alpha} = \frac{k_v \cdot k_a \cdot \sigma_{vm}}{K_t \cdot E \cdot \alpha} \qquad \text{... (45)}$$

L'écart de température $\delta\theta$ déterminé en 9.1.3, 9.2.3, ou 9.3.3 doit être inférieur à $\delta\theta_{adm}$.

Les Tableaux 15 à 20 donnent, pour les feuillures à inertie thermique faible, moyenne et forte, les écarts de température admissibles pour les verres, avec ou sans présence d'ombre portée.

La nature des vitrages de toiture doit également satisfaire aux exigences du FD DTU 39 P5 (Mémento Sécurité) .

11.2.2 Feuillures à faible inertie thermique

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Type de verre	Appui sur	Avec ombre portée			Sans ombre portée		
		$\beta \geq 60°$	$60° > \beta \geq 30°$	$30° > \beta$	$\beta \geq 60°$	$60° > \beta \geq 30°$	$30° > \beta$
— monolithique façonné	Périphérie	42	38	34	48	43	38
— feuilleté symétrique façonné, avec tous les composants ≥ 4 mm	Autres	34	28	21	38	31	24
— monolithique brut de coupe	Périphérie	35	32	28	40	36	32
— feuilleté symétrique brut de coupe, avec tous les composants ≥ 4 mm — feuilleté, symétrique façonné, avec un des composants ≤ 3 mm — feuilleté non symétrique façonné	Autres	28	23	18	32	26	20
— imprimé brut de coupe ou façonné	Périphérie	32	29	25	36	32	29
	Autres	25	21	16	29	23	18
— feuilleté non symétrique brut de coupe	Périphérie	26	24	21	30	27	24
— feuilleté brut de coupe, avec un des composants ≤ 3 mm — feuilleté symétrique scié, avec tous les composants ≥ 4 mm	Autres	21	17	13	24	19	15
— feuilleté non symétrique scié	Périphérie	25	22	20	28	25	22
	Autres	20	16	12	22	18	14
— armé	Périphérie	23	20	18	25	23	20
	Autres	18	15	11	20	17	13

Tableau 15 - Verres non traités thermiquement - Ecart de température admissible dans les verres (K)

Type de verre	Appui sur	Avec ombre portée		
		$\beta \geq 60°$	$60° > \beta \geq 30°$	$30° > \beta$
Verre durci ou émaillé trempé	Périphérie	150	135	120
	Autres	120	100	75
Verre trempé	Périphérie	215	190	170
	Autres	170	140	105
Verre imprimé trempé	Périphérie	170	155	140
	Autres	140	110	85
Verre imprimé trempé émaillé	Périphérie	130	115	100
	Autres	100	85	65

Tableau 16 - Verres ayant subi un traitement thermique - Ecart de température admissible dans les verres (K) avec ombre

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

portée

11.2.3 Feuillures à inertie thermique moyenne

Type de verre	Appui sur	Avec ombre portée			Sans ombre portée		
		β ≥ 60°	60° > β ≥ 30°	30° > β	β ≥ 60°	60° > β ≥ 30°	30° > β
— monolithique façonné	Périphérie	38	34	30	40	36	32
— feuilleté symétrique façonné, avec tous les composants ≥ 4 mm	Autres	30	25	19	32	26	20
— monolithique brut de coupe	Périphérie	32	29	25	33	30	27
— feuilleté symétrique brut de coupe, avec tous les composants ≥ 4 mm — feuilleté, symétrique façonné, avec un des composants ≤ 3 mm — feuilleté non symétrique façonné	Autres	25	21	16	27	22	17
— imprimé brut de coupe ou façonné	Périphérie	29	26	23	30	27	24
	Autres	23	19	14	24	20	15
— feuilleté non symétrique brut de coupe	Périphérie	24	21	19	25	23	20
— feuilleté brut de coupe, avec un des composants ≤ 3 mm — feuilleté symétrique scié, avec tous les composants ≥ 4 mm	Autres	19	15	12	20	16	13
— feuilleté non symétrique scié	Périphérie	22	20	18	23	21	19
	Autres	18	14	11	19	15	12
— armé	Périphérie	20	18	16	21	19	17
	Autres	16	13	10	17	14	11

Tableau 17 - Verres non traités thermiquement - Ecart de température admissible dans les verres (K)

Type de verre	Appui sur	Avec ombre portée		
		β ≥ 60°	60° > β ≥ 30°	30° > β
Verre durci ou émaillé trempé	Périphérie	135	120	110
	Autres	110	90	70
Verre trempé	Périphérie	190	170	150
	Autres	150	125	95
Verre imprimé trempé	Périphérie	150	140	125
	Autres	125	100	75
Verre imprimé trempé émaillé	Périphérie	115	105	90
	Autres	90	75	60

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Tableau 18 - Verres ayant subi un traitement thermique - Ecart de température admissible dans les verres (K)

11.2.4 Feuillures à forte inertie thermique

Type de verre	Appui sur	Avec ou sans ombre portée		
		$\beta \geq 60°$	$60° > \beta \geq 30°$	$30° > \beta$
— monolithique façonné — feuilleté symétrique façonné, avec tous les composants ≥ 4 mm	Périphérie	35	31	28
	Autres	28	23	17
— monolithique brut de coupe — feuilleté symétrique brut de coupe, avec tous les composants ≥ 4 mm — feuilleté, symétrique façonné, avec un des composants ≤ 3 mm — feuilleté non symétrique façonné	Périphérie	29	26	23
	Autres	23	19	14
— imprimé brut de coupe ou façonné	Périphérie	26	23	21
	Autres	21	17	13
— feuilleté non symétrique brut de coupe — feuilleté brut de coupe, avec un des composants ≤ 3 mm — feuilleté symétrique scié, avec tous les composants ≥ 4 mm	Périphérie	22	19	17
	Autres	17	14	11
— feuilleté non symétrique scié	Périphérie	20	18	16
	Autres	16	13	10
— armé	Périphérie	18	17	15
	Autres	15	12	9

Tableau 19 - Verres non traités thermiquement - Ecart de température admissible dans les verres (K)

Type de verre	Appui sur	Avec ou sans ombre portée		
		$\beta \geq 60°$	$60° > \beta \geq 30°$	$30° > \beta$
Verre durci ou émaillé trempé	Périphérie	120	100	100
	Autres	100	80	60
Verre trempé	Périphérie	175	155	140
	Autres	140	115	85
Verre imprimé trempé	Périphérie	140	125	110
	Autres	110	90	70
Verre imprimé trempé émaillé	Périphérie	105	95	80
	Autres	80	70	55

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Tableau 20 - Verres ayant subi un traitement thermique - Ecart de température admissible dans les verres (K)

11.3 Comparaison des coefficients d'absorption

Pour des cas courants, les coefficients d'absorption des verres à ne pas dépasser sont donnés dans les Tableaux 21 à 26 .

Les cas non prévus dans les tableaux doivent être analysés par application de 11.1 ou 11.2 .

Les tableaux 21 à 26 sont établis dans les conditions suivantes :

- altitude maximale 1 000 m ;
- les conditions standard sont définies en 8.3 et les caractéristiques des vitrages sont définis à l'Article 6 ;
- vitrages associés ou non à des stores ou protections solaires intérieurs dits standard (voir 7.4). Ce store est supposé intérieur, ventilé sur trois côtés et distant de 5 cm du vitrage, ou présentant une perméabilité à l'air correspondant à 10 % de vide au moins ;
- absence de store intérieur en toiture ;
- possibilité d'ombre portée (stores ou protections solaires extérieurs sans contact avec le verre, etc.) ;
- sauf mention particulière, les produits verriers ont les bords bruts de coupe.

Les valeurs sur fond clair des Tableaux 22 à 23 correspondent aux verres bruts de coupe. Les valeurs imprimées sur fond grisé correspondent à des verres à bords façonnés selon 6.3 .

La nature des vitrages de toiture doit également satisfaire aux exigences du FD DTU 39 P5 (Mémento Sécurité) .

Les verres feuilletés repérés sur fond grisé sont fabriqués en mesures fixes. Les arêtes de tous leurs composants sont façonnées selon 6.3 .

11.3.1 Simples vitrages avec ou sans store intérieur

Caractéristiques du vitrage			Inertie thermique de la feuillure		
Inclinaison	Nature	En appui	Faible	Moyenne	Forte
$\beta \geq 60°$	Monolithique	Périphérie	0,75	0,58	0,42
		Autre cas	0,56	0,42	0,26
	Feuilleté	Périphérie	0,61	0,44	0,32
		Autre cas	0,42	0,28	0,16
$30° < \beta < 60°$	Feuilleté	Périphérie	0,36	0,22	0,14
		Autre cas	0,22	0,08	●
$\beta \leq 30°$	Feuilleté	Périphérie	0,26	0,17	0,11
		Autre cas	0,11	●	●
● *Vitrage avec une haute résistance au choc thermique conformément à l'Article 6.*					

Tableau 21 - Coefficients d'absorption maximum pour utiliser du verre recuit en simple vitrage avec ou sans store intérieur

11.3.2 Doubles vitrages sans couche faiblement émissive avec ou sans store intérieur

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Caractéristiques du vitrage			Faible inertie thermique				Moyenne inertie thermique			
			Composant extérieur		Composant intérieur		Composant extérieur		Composant intérieur	
Inclinaison	Nature	Appui	Brut de coupe	Façonnage	Brut de coupe	Façonnage	Brut de coupe	Façonnage	Brut de coupe	Façonnage
β ≥ 60°	Monolithique	Périphérie	0,41	0,54	0,27	0,39	0,35	0,44	0,11	0,21
		Autres cas	0,27	0,38	0,14	0,25	0,23	0,29	●	0,07
	Feuilleté	Périphérie	0,31	0,54	0,18	0,39	0,25	0,44	●	0,21
		Autres cas	0,18	0,38	●	0,25	0,14	0,29	●	0,07
30° < β < 60°	Monolithique	Périphérie	0,30	0,41			0,29	0,32		
		Autres cas	0,14	0,23			0,11	0,16		
	Feuilleté	Périphérie	0,21	0,41	0,16	0,26	0,12	0,32	●	0,13
		Autres cas	0,09	0,23	●	0,13	●	0,16	●	
β ≤ 30°	Monolithique	Périphérie	0,23	0,34			0,20	0,25		
		Autres cas	●				●			
	Feuilleté	Périphérie	0,14	0,34	●		0,11	0,25	●	0,13
		Autres cas	●		●		●		●	

● *Vitrage avec une haute résistance au choc thermique conformément à l'Article 6.*

Tableau 22 - Coefficients d'absorption à ne pas dépasser pour utiliser du verre recuit en double vitrage sans couche faiblement émissive avec ou sans store intérieur, et lame d'air ou d'argon

11.3.3 Doubles vitrages verticaux à couche faiblement émissive avec ou sans store intérieur

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Caractéristiques du vitrage			Faible inertie thermique				Moyenne inertie thermique			
Coefficient U_g en W/(m².K)	Nature	Appui	Composant extérieur		Composant intérieur		Composant extérieur		Composant intérieur	
			Brut de coupe	Façonnage	Brut de coupe	Façonnage	Brut de coupe	Façonnage	Brut de coupe	Façonnage
$2,3 \leq U_g < 2,7$ $\beta \geq 60°$	Monolithique	Périphérie	0,40	0,49	0,21	0,32	0,32	0,41	0,11	0,16
		Autres cas	0,28	0,36	0,10	0,19	0,22	0,27	●	●
	Feuilleté	Périphérie	0,31	0,49	0,13	0,32	0,24	0,41	●	0,16
		Autres cas	0,19	0,36	●	0,19	0,14	0,27	●	●
$1,6 \leq U_g < 2,3$ $\beta \geq 60°$	Monolithique	Périphérie	0,37	0,47	0,18	0,28	0,32	0,39	0,09	0,13
		Autres cas	0,26	0,35	0,07	0,16	0,23	0,26	●	●
	Feuilleté	Périphérie	0,29	0,47	0,10	0,28	0,24	0,39	●	0,13
		Autres cas	0,18	0,35	●	0,16	0,15	0,26	●	●
$1,1 \leq U_g < 1,6$ $\beta \geq 60°$	Monolithique	Périphérie	0,34	0,45	0,15	0,24	0,30	0,37	●	●
		Autres cas	0,24	0,33	●	0,13	0,22	0,25	●	●
	Feuilleté	Périphérie	0,27	0,45	●	0,24	0,24	0,37	●	●
		Autres cas	0,16	0,33	●	0,13	0,15	0,25	●	●
● *Vitrage avec une haute résistance au choc thermique conformément à l'Article 6.*										

Tableau 23 - Coefficients d'absorption à ne pas dépasser pour utiliser du verre recuit en double vitrage à couche faiblement émissive avec ou sans store intérieur

11.3.4 Vitrages en toiture sans store intérieur

11.3.4.1 Simple vitrage

Caractéristiques du vitrage			Type de feuillure inertie thermique	
Inclinaison	Nature	En appui	Faible et VEC	Moyenne
$\beta < 30°$	Feuilleté	Périphérie	0,38	0,33
		Autres cas	0,25	0,19
	Armé	Périphérie	0,29	0,23
		Autres cas	0,19	0,15

Tableau 24 - Coefficients d'absorption à ne pas dépasser pour utiliser du verre recuit en simple vitrage

11.3.4.2 Double vitrage sans couche faiblement émissive

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Caractéristiques du vitrage			Faible inertie thermique				Moyenne inertie thermique			
Inclinaison	Nature	En appui	Composant extérieur		Composant intérieur		Composant extérieur		Composant intérieur	
			Brut de coupe	Façonnage	Brut de coupe	Façonnage	Brut de coupe	Façonnage	Brut de coupe	Façonnage
β < 30°	Monolithique	Périphérie	0,33	0,45	●	●	0,30	0,34	●	●
		Autres cas	0,13	0,21	●	●	0,13	0,14	●	●
	Feuilleté	Périphérie	0,22	0,45	0,20	0,37	0,15	0,34	0,15	0,27
		Autres cas	●	0,21	●	0,15	●	0,14	●	0,10
● *Vitrage avec une haute résistance au choc thermique conformément à l'Article 6.*										

Tableau 25 - Coefficients d'absorption à ne pas dépasser pour utiliser du verre recuit en double vitrage sans couche faiblement émissive (remplissage air ou argon)

11.3.5 Châssis verticaux coulissants ou à guillotine sans store

Les configurations barrées dans les Tableaux 26 à 29 nécessitent l'usage de verre renforcé thermiquement conformément à l'article 6 .

Le Tableau 26 concerne les châssis sans butées, équipés de vitrages simples ou isolants.

Les Tableaux 27 et 28 concernent les châssis avec butées, équipés de doubles vitrages.

Les valeurs d'absorption maximales sont données soit pour le simple vitrage, soit pour le **composant extérieur recuit** associé à un verre intérieur clair recuit de 4 mm ou de 6 mm d'un vitrage isolant, sans store intérieur.

NOTE
La couche faiblement émissive éventuelle doit être posée de préférence en face 2.

11.3.5.1 Vitrage simple ou isolant en châssis vertical coulissant ou à guillotine sans butée

	Simple vitrage	Vitrage isolant ($U_g > 2,7$)	Vitrage isolant ($1,1 \leq U_g \leq 2,7$)
Monolithique	0,45	0,14	
Feuilleté	0,40		
Monolithique ou feuilleté	0,55	0,25	

Tableau 26 - Coefficients d'absorption du verre extérieur à ne pas dépasser pour utiliser du verre recuit en châssis coulissants ou à guillotine en façade sans butée anti-échauffement, sans store intérieur

11.3.5.2 Double vitrage en châssis vertical coulissant ou à guillotine avec butée

Les conditions d'absorption doivent être satisfaites simultanément pour les deux composants du vitrage isolant.

Les largeurs en tableau de maçonnerie sont limitées à :

- 2,00 m pour les portes-fenêtres ;
- 1,60 m pour les fenêtres.

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Composition	Remplissage	Composant extérieur		Composant intérieur
X + 16 + 4 mm clair	Air	0,25	0,40	0,10
	Argon	0,20	0,40	
X + 16 + 6 mm clair	Air	0,19	0,25	0,15
	Argon	0,14	0,25	
X + 16 + 44.2 clair	Air		0,25	0,22
	Argon		0,16	

Tableau 27 - Pose en plaine (altitude ≤ 500 m) - Couche faiblement émissive en face 2

Lorsque le verre extérieur est à bords façonnés (cellules grisées), le verre clair intérieur doit être également à bords façonnés.

Composition	Remplissage	Composant extérieur	Composant intérieur	
4 clair + 16 + X	Air	0,10	0,18	0,25
	Argon		0,15	0,22

Tableau 28 - Pose en plaine (altitude ≤ 500 m) - Couche faiblement émissive en face 3

Lorsque le verre intérieur est à bords façonnés (cellules grisées), le verre clair extérieur doit être également à bords façonnés.

Composition	Remplissage	Composant extérieur		Composant intérieur
X + 16 + 4 mm clair	Air	0,18	0,40	0,10
	Argon	0,14	0,40	
X + 16 + 6 mm clair	Air		0,25	0,15
	Argon		0,18	

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Tableau 29 - Pose en montagne (altitude > 500 m) - Couche faiblement émissive en face 2

Lorsque le verre extérieur est à bords façonnés (cellules grisées), le verre clair intérieur doit être également à bords façonnés.

Composition	Remplissage	Composant extérieur	Composant intérieur	
4 clair + 16 + X	Air	0,10	0,13	0,20
	Argon		0,12	0,18

Tableau 30 - Pose en montagne (altitude > 500 m) - Couche faiblement émissive en face 3

Lorsque le verre intérieur est à bords façonnés (cellules grisées), le verre clair extérieur doit être également à bords façonnés.

Les valeurs imprimées sur fond clair correspondent aux verres bruts de coupe. Les valeurs imprimées sur fond grisé correspondent à des verres à bords façonnés selon 6.3 .

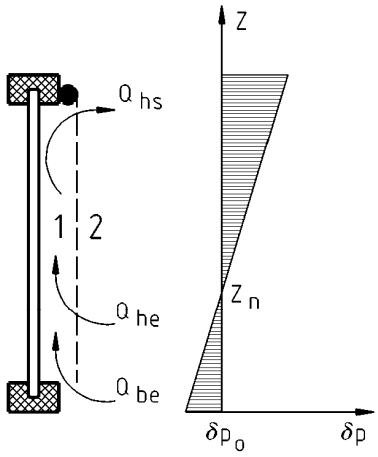
Les verres feuilletés repérés sur fond grisé sont fabriqués en mesures fixes, et ont les arêtes de tous leurs composants façonnée selon 6.3 .

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

Annexe A (normative) Stores - Calcul du coefficient K_x

Le facteur d'échanges par ventilation K_x dépend des dimensions du vitrage, des espaces périphériques b_1, b_2 et b_3 et de la perméabilité du store définis en 7.4 , et de l'écart de température δθ entre les deux ambiances séparées par le store.
Soit (1) la zone entre store et vitrage, et (2) l'ambiance au contact.



Légende

Q_{be} Débits entrants par le bas du store ou de la fermeture

Q_{ce} Débits entrants par les côtés du store ou de la fermeture

Q_{se} Débits entrants en surface du store ou de la fermeture

Figure A.1 - Store ventilé et débits d'air- Notations

Entre les deux ambiances séparées par le store, respectivement aux températures absolues T_1 et T_2 (en K), s'établit un écart de pression dû à la différence entre les masses volumiques ρ_1 et ρ_2 de l'air dans les deux ambiances, dépendant linéairement de la cote z :

$$\delta\rho(z) = \rho_1(z) - \rho_2(z) = \delta\rho_0 - \left(\rho_1 - \rho_2\right) \cdot g \cdot z \qquad \text{... (46)}$$

$$\rho_1 = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T_1} \qquad \rho_1 \pm \rho_2 \cdot \frac{T_0}{T_2} \qquad \text{... (47)}$$

avec :

si $T_1 > T_2$, donc $\rho_2 > \rho_1$, soit $\delta\rho = (\rho_2 - \rho_1)$

$$\delta\rho = \rho_0 \cdot T_0 \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) = \frac{\rho_0 \cdot T_0 \cdot \delta\theta}{T_1 \cdot T_2} \qquad \text{... (48)}$$

Dans ce cas, l'air entre dans la zone 1 en partie basse, et ressort en partie haute comme indiqué sur la figure A.1 .
Le débit élémentaire dQ entrant par un orifice de section dS situé à la cote z peut être calculé par :

$$dQ = 0{,}85 \cdot dS \cdot \sqrt{\delta\rho(z)} \quad (m^3/s) \qquad \text{... (49)}$$

Soit z_n la cote de la zone neutre, telle que δp(zn) = 0.
On pose :

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

$$x = \frac{z_n}{H} \qquad \text{... (50)}$$

et :

$$k = 0{,}85 \cdot \sqrt{\delta\rho \cdot g} = 0{,}85 \cdot \sqrt{\left(\frac{\rho_0 \cdot T_0 \cdot g}{T_1 \cdot T_2}\right)} \cdot \sqrt{\delta\theta} \qquad \text{... (51)}$$

Si $T_1 = T_2 = 298$ K, soit $\theta_1 = \theta_2 = 25$ °C,

$$k = 0{,}168 \cdot \sqrt{\delta\theta} \qquad \text{... (52)}$$

Par intégration, sont calculés les débits entrants :

— bas :

$$Q_{be} = b_1 \cdot B \cdot H \cdot k \cdot x^{1/2} \qquad \text{... (53)}$$

— côtés :

$$Q_{ce} = 2 \cdot b_3 \cdot H^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot k \cdot x^{3/2} \qquad \text{... (54)}$$

— surface :

$$Q_{se} = \beta_{ps} \cdot B \cdot H^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot k \cdot x^{3/2} \qquad \text{... (55)}$$

de même que les débits sortants :

— bas :

$$Q_{bs} = b_2 \cdot B \cdot H \cdot k \cdot (1 - x)^{1/2} \qquad \text{... (56)}$$

— côtés :

$$Q_{cs} = 2 \cdot b_3 \cdot H^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot k \cdot (1 - x)^{3/2} \qquad \text{... (57)}$$

— surface :

$$Q_{ss} = \beta_{ps} \cdot B \cdot H^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot k \cdot (1 - x)^{3/2} \qquad \text{... (58)}$$

Les débits entrants et sortants étant égaux, la position relative x de la zone neutre est solution de l'équation suivante :

$$b_1 \cdot B \cdot x^{1/2} + \frac{2}{3} \cdot H \cdot \left(2 \cdot b_3 + \beta_{ps} \cdot B\right) \cdot x^{3/2} = b_2 \cdot B \cdot (1 - x)^{1/2} + \frac{2}{3} \cdot H \cdot \left(2 \cdot b_3 + \beta_{ps} \cdot B\right) \cdot (1 - x)^{3/2} \qquad \text{... (59)}$$

qui peut être résolue par approximations successives.
Le débit entrant total est :

$$Qe = k \cdot H \cdot \left(b_1 \cdot B \cdot x^{1/2} + \frac{2}{3} \cdot H \cdot \left(2 \cdot b_3 + \beta_{ps} \cdot B\right) \cdot x^{3/2}\right) \qquad \text{... (60)}$$

Ce débit apporte à l'ambiance 1, par unité de surface, le flux de chaleur :

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

$$\Phi = \frac{c \cdot \rho_2 \cdot Qe \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{B \cdot H} \quad \text{... (61)}$$

ou

$$\Phi = K_x \cdot (\theta_2 - \theta_1) \quad \text{... (62)}$$

d'où :

$$K_x = \frac{c \cdot \rho_2 \cdot Qe}{B \cdot H}$$

On notera que, comme k et le débit de Qe, le facteur K_x est proportionnel à $\sqrt{\delta\theta}$, et doit donc être recalculé à chaque pas.

A.1 Cas particuliers

Les formules suivantes peuvent être utilisées :

A.1.1 Cas d'un store ventilé sur trois côtés, avec un interstice périphérique de largeur b :

$$K_x = 260 \cdot \frac{b}{B} \cdot \sqrt{H \cdot \delta\theta} \cdot (1 - x)^{3/2} \quad \text{... (63)}$$

avec

$$x = \frac{\left(0{,}5 - 0{,}1 \times \frac{B}{H}\right)}{1 + 0{,}3 \times \frac{B}{H}} \quad \text{... (64)}$$

Pour un vitrage de 1,40 m × 1,45 m, avec b = 0,05 m, et un écart de température de 10 °C :

$$K_x \approx 20 \text{ W/m}^2.\text{K} \quad \text{... (65)}$$

A.1.2 Cas d'un store à ventilation haute et basse, avec des interstices de largeur b :

$$K_x = 143 \cdot \frac{b}{H} \cdot \sqrt{H \cdot \delta\theta} \quad \text{... (66)}$$

Avec les mêmes données que précédemment :

$$K_x \approx 19 \text{ W/m}^2.\text{K} \quad \text{... (67)}$$

A.1.3 Cas d'un store à perméabilité répartie et à côtés fermés, soit β la perméabilité du store (proportion de vides)

https://www.engcopilot.com/

https://www.engcopilot.com/

$$K_x = 47{,}5 \cdot \beta_{ps} \cdot \sqrt{H \cdot \delta\theta} \qquad \text{... (68)}$$

Pour un store de perméabilité 10 %, avec les mêmes données :

$$K_x \approx 18\ W/m^2.K \qquad \text{... (69)}$$

Une perméabilité de 10 % est donc pratiquement équivalente à un espacement de 5 cm avec ventilation sur trois côtés.

A.1.4 Store intérieur ventilé sur trois côtés pour l'application de la méthode simplifiée

Pour l'application de la méthode simplifiée (§ 9.2), dans le cas d'un store intérieur ventilé sur trois côtés et distant de 5 cm du vitrage, ou présentant une perméabilité à l'air correspondant à au moins 10 % de vides on peut adopter la valeur forfaitaire :

$$K_x \approx 20\ W/m^2.K \qquad \text{... (70)}$$

A.2 Perméabilité du store au rayonnement infrarouge lointain

Il est également tenu compte d'une perméabilité partielle du store au rayonnement infrarouge. Dans le cas d'un store de matière opaque, mais perforé, on admet que sa perméabilité au rayonnement infrarouge est caractérisée par sa perméabilité à l'air β_{ps}.

Ainsi, les échanges radiatifs d'un verre (i) avec un autre verre (j) dont il est séparé par le store (s) s'écrivent :

$$\Phi r_i = \beta_{ps} \cdot hr_{ij} \cdot \left(\theta_i - \theta_j\right) + \left(1 - \beta_{ps}\right) \cdot hr_{is} \cdot \left(\theta_i - \theta_s\right) \qquad \text{... (71)}$$

Le système d'équations est formulé par la méthode des différences finies en schéma de Cranck-Nicholson. Il est résolu pas à pas, avec un pas de temps de 15 min.

© AFNOR 2006 - Imprimé par VINCI CONSTRUCTION FRANCE le 24/12/2013

https://www.engcopilot.com/